



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

**CONTROL DE L'APARELLAT D'AUTOBUSOS
DAVANT D'INCIDÈNCIES EN L'EXPLOTACIÓ
DE LÍNIES PER INTERVAL**

722-TES-CA-5231

Autor/a

XAVIER BELLSOLÀ OLBA

Tutor/a

MIQUEL ÀNGEL ESTRADA ROMEU

Departament

INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORT I DEL TERRITORI

Intensificació

INTENSIFICACIÓ EN TRANSPORTS

Data

JUNY DE 2011

Títol: Control de l'aparellat d'autobusos davant d'incidències en l'explotació de línies per interval

Autor: Bellsolà Olba, Xavier

Tutor: Estrada Romeu, Miquel Àngel

RESUM

L'aparellat d'autobusos es deu als nombrosos i impredecibles esdeveniments que pateixen els vehicles en el servei, quan un vehicle s'endarrereix, aquest es va trobant de forma recurrent més usuaris en les parades següents i l'efecte d'aquesta pertorbació local s'estén per tota la flota causant l'aparellat. Per tant, garantir l'adherència als intervals de pas teòrics dels vehicles és un tema estratègic per oferir un servei fiable i de mínim cost pels usuaris i per l'operador.

Per a combatre aquest fenomen, s'han avaluat diferents estratègies de control que contrarestin l'evolució natural de la flota a agrupar-se i oferir intervals de pas variables. La primera estratègia és introduir un temps addicional de regulació en els horaris de pas en algunes parades, que permetria contrarestar el retard que pateixen els autobusos en un tram en qüestió. Una altra estratègia és la reducció de la velocitat dels autobusos que guarden un interval de pas inferior al teòric amb l'autobús que tenen per davant. La tercera consisteix en atorgar prioritat semafòrica dinàmica a aquells vehicles endarrerits juntament amb una reducció de velocitat a fi que recuperin el retard acumulat. A nivell general, totes les estratègies milloren la regularitat del servei a costa d'incrementar el temps de viatge dels usuaris i incrementar els costos operatius de l'operador.

En aquesta tesina s'han modelitzat les diferents estratègies de control de flotes d'autobusos per als diferents escenaris a partir d'una eina computacional i a partir d'això s'han analitzat els valors de la regularitat del servei aconseguit (coeficient de variació d'interval), el temps de viatge de tots els usuaris i el nombre de recursos a utilitzar (nombre de vehicles en la flota) per a cada estratègia.

Així, es presenten els resultats que denoten que l'estratègia més adequada és la tercera. Amb aquesta s'obté que tant els temps de viatge com els costos, per a usuaris i operador, són menors. Per tant, aquesta metodologia d'explotació i control de xarxes d'autobusos permet optimitzar la regularitat de línies amb intervals de pas fixats.

Adicionalment, s'ha analitzat la influència de diferents increments de temps per a la prioritat semafòrica i, per últim, l'estudi de la combinació de les estratègies en conjunt. Ambdues s'hauran d'estudiar en futures investigacions per a cada cas concret degut a la seva repercussió en els resultats obtinguts.

Title: Control of bus bunching in front of incidents in the operating of lines with fixed headways

Author: Bellsolà Olba, Xavier

Tutor: Estrada Romeu, Miquel Àngel

ABSTRACT

The arrival of buses in bunches is due to the numerous and unpredictable events experienced by vehicles during the service. When a vehicle is delayed, it finds recurrently more users in the following stops. The effect of this perturbation is extended to the whole fleet. Therefore, the target time-headway adherence is a strategic item to provide a reliable service with minimum cost for the users and the operator.

To fight this phenomenon, different control strategies have been evaluated. These strategies consist in tackling the vehicle pairing effect and offer variable headways. The first strategy is to introduce slack time in the schedules at some stops. This measure will allow to counteract the delay that some vehicles suffer in a stretch. Another strategy is to reduce the vehicle speed of those buses showing a lower headway with regard to the bus ahead. The third strategy consists in ensuring dynamic traffic light priority to those vehicles delayed in addition to a reduction of the velocity. It is aimed to recover the time lost. In general terms, all the strategies improve the regularity of the service at the expenses of an increase in the travelling time of the users and the operating costs of the agency.

In this thesis different fleet control strategies for buses have been modelled for different scenarios using a computational tool. From this, different regularity values of the service given (coefficient of variation), travelling time of all users and the number of resources used (number of vehicles in the fleet) for each strategy have been analysed.

In this way, results show that the third strategy is the most appropriate. With this strategy the travelling time and the costs for users and operator are lower. Therefore, this bus network design methodology allows optimizing the regularity of the lines with fixed headways.

Moreover, the analysis of the influence of different time increase for the traffic light priority and the combined study of the whole strategies have been studied. Both must be analysed in future investigations for each case due to its impact in the obtained results.

AGRAÏMENTS

M'agradaria agrair a totes les persones que m'han ajudat en la realització d'aquesta tesina i que m'han recolzat al llarg de tots aquests anys de carrera.

En primer lloc, voldria agrair sincerament al tutor, Miquel Estrada, el seu interès, atenció i dedicació en l'orientació i desenvolupament d'aquest treball, sense el que no hagués estat possible.

Voldria agrair també a tots els amics, companys i família pel seu recolzament al llarg d'aquest període i que l'han fet inoblidable, en especial als meus pares i al meu germà.

Finalment, agrair a la Montse la seva paciència i el seu suport en tot moment.

A tots, moltes gràcies!

ÍNDIX

1. Introducció	9
2. Objectius	13
3. Planificació estratègica, tàctica i operacional de línies d'autobusos	15
3.1. Disseny estratègic	15
3.2. Disseny tàctic	16
3.3. Control operacional	17
3.4. Elements de control que intervenen en una línia d'autobús	17
3.4.1. Semàfors	17
3.4.2. Sistemes d'Ajuda a l'Explotació (SAE)	18
3.4.3. Centres de Control de Trànsit (CCT)	18
3.4.4. Coordinació entre SAE i CCT	18
3.4.5. Localització automàtica de vehicles (AVL)	19
4. Estat de l'art en l'anàlisi de control de la regularitat	21
4.1. Models de control	21
4.1.1. Models de punts de control fixos (<i>holding points</i>)	22
4.1.2. Models de control de la velocitat de la flota	23
4.1.3. Models de control semafòric	25
4.1.4. Equilibri en els models	26
5. Modelització del control de flota	27
5.1. Variables del sistema	28
5.1.1. Nombre de parades	28
5.1.2. Nombre de parades màxim	28
5.1.3. Interval	28
5.1.4. Longitud entre parades	28

5.1.5. Nombre d'interseccions	28
5.1.6. Temps de verd i Temps de cicle semafòric	28
5.1.7. Pertorbació.....	29
5.1.8. Parada en la que es produeix la pertorbació	29
5.1.9. Vehicle que sofreix la pertorbació.....	29
5.1.10. Velocitat comercial	29
5.1.11. Taxa d'arribades de passatgers	29
5.1.12. Perfil de càrrega.....	29
5.1.13. Temps de marge en capçalera (slack time).....	29
5.1.14. Temps mínim descans conveni en una capçalera.....	29
5.1.15. Factor d'ajust d'interval (f_a)	30
5.1.16. Temps unitaris de pujada i de baixada	30
5.1.17. Capacitat	30
5.1.18. Variable binària per permetre el salt de semàfors per a recuperar temps	30
5.1.19. Increment de temps de verd per al pas de l'autobús (G)	30
5.2. Formulació del problema.....	31
6. Estratègies de control de flota.....	33
6.1. Punts de control fixos (S0)	34
6.1.1. Modelització de l'estratègia de punts de control fixos (S0)	34
6.2. Control de velocitat dels autobusos (S1).....	35
6.2.1. Modelització de l'estratègia de control de velocitat (S1) i (S2).....	35
6.3. Control de velocitat dels autobusos i control semafòric (S2)	36
6.3.1. Modelització de l'estratègia de control semafòric (S2).....	36
7. Aplicació de les estratègies a casos pràctics	37
7.1. Generació de problemes.....	38
7.1.1. Valors de les variables fixades	38
7.1.2. Calibració del factor d'ajust d'interval (f_a)	39
7.1.3. Escenaris considerats.....	39
7.2. Indicadors de comparació	41
7.2.1. Prestacions als usuaris.....	41
7.2.2. Costos operacionals	42
7.2.3. Costos per a l'usuari	42

7.3. Mètode de resolució	44
7.4. Anàlisi de resultats	45
7.4.1. Filtratge de dades per a la seva anàlisi	45
7.4.2. Calibració del factor d'ajust d'interval (f_a)	48
7.4.3. Parada on es produeix la pertorbació	51
7.4.4. Velocitats comercials	53
7.4.4.1. Comparativa <i>Nombre de vehicles necessaris – Temps de cicle – C_{vh}</i>	53
7.4.4.2. Costos de la línia d'autobusos	61
7.4.5. Nivells de servei	65
7.4.6. Avaluació semafòrica	66
7.4.7. Avaluació d'estratègia conjunta	69
8. Conclusions	71
9. Referències bibliogràfiques	73
ANNEXES	75
ANNEX 1. CODI DE L'EINA COMPUTACIONAL IMPLEMENTADA	77
ANNEX 2. DADES OBTINGUDES EN CADA SIMULACIÓ	111

ÍNDIX DE TAULES

<i>Taula 1. Relació de simulacions estudiades</i>	<i>40</i>
<i>Taula 2. Nivell de Servei en funció del C_{vh}</i>	<i>41</i>
<i>Taula 3. Valors dels pesos dels temps dels autobusos.....</i>	<i>42</i>
<i>Taula 4. Valors dels pesos dels temps per a passatgers</i>	<i>42</i>
<i>Taula 5. Matriu de temps obtinguda per a les diferents simulacions</i>	<i>45</i>
<i>Taula 6. Matriu d'interval de pas obtinguda per a les diferents simulacions</i>	<i>45</i>
<i>Taula 7. Matriu de diferències d'interval per a les diferents simulacions</i>	<i>45</i>
<i>Taula 8. Valors segons diferents factors d'ajust d'interval per un temps de pertorbació 6 min.</i>	<i>48</i>
<i>Taula 9. Resultats segons parada per a Temps de Pertorbació 4 min</i>	<i>51</i>
<i>Taula 10. Resultats segons parada per a Temps de Pertorbació 6 min</i>	<i>52</i>
<i>Taula 11. Simulació sense pertorbació.....</i>	<i>53</i>
<i>Taula 12. Simulació amb pertorbació de 3 minuts</i>	<i>54</i>
<i>Taula 13. Simulació amb pertorbació de 6 minuts</i>	<i>57</i>
<i>Taula 14. Costos per a la simulació sense pertorbació.....</i>	<i>61</i>
<i>Taula 15. Costos per a la simulació amb pertorbació de 3 minuts.....</i>	<i>62</i>
<i>Taula 16. Costos per a la simulació amb pertorbació de 6 minuts.....</i>	<i>63</i>
<i>Taula 17. Nivells de servei per a les diferents estratègies</i>	<i>65</i>
<i>Taula 18. Comparació entre increments de verd del 10% i del 20%</i>	<i>66</i>
<i>Taula 19. Comparació entre increments de verd del 10% i del 100%</i>	<i>67</i>
<i>Taula 20. Comparació entre un increment de verd del 10% i sense cap increment.....</i>	<i>67</i>
<i>Taula 21. Avaluació d'estratègies amb pertorbació de 3 minuts.....</i>	<i>69</i>
<i>Taula 22. Avaluació d'estratègies amb pertorbació de 6 minuts</i>	<i>69</i>

ÍNDIX DE FIGURES

<i>Figura 1. Trajectòries dels autobusos.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2. Detall de les trajectòries</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3. Distribució de parades amb punts de control fixos</i>	<i>22</i>
<i>Figura 4. Diagrama teòric de fase en l'espai $(\Delta t, \gamma \lambda)$ per $L=2-5$ on $\lambda=0,2$, $\mu=0,1$ i $\gamma=\delta$. Les corbes representen les línies d'estabilitat neutral. Per sota d'aquestes, el flux d'autobusos homogeni és estable i per sobre d'aquestes es torna inestable. Font: Nagatani (2001)</i>	<i>23</i>
<i>Figura 5. Evolució de la velocitat comercial en funció de ξ_n (sense control de velocitat).....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6. Evolució de la velocitat comercial en funció de ξ_n (amb control de velocitat)</i>	<i>24</i>
<i>Figura 7. Evolució de la velocitat comercial en funció de ξ_n (amb control i reducció de velocitat) ..</i>	<i>25</i>
<i>Figura 8. Equilibri entre regularitat i costos</i>	<i>26</i>
<i>Figura 9. Distribució de parades amb punts de control fixos</i>	<i>27</i>
<i>Figura 10. Distribució de parades amb punts de control fixos</i>	<i>34</i>
<i>Figura 11. Esquema del control de velocitat dels autobusos</i>	<i>35</i>
<i>Figura 12. Esquema del control de velocitat dels autobusos i control semafòric.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 13. Imatge del programa implementat en Visual Basic.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 14. Perfil de càrrega segons la distribució Origen-Destinació de la distribució de viatges...</i>	<i>39</i>
<i>Figura 15. Esquema del mètode de resolució</i>	<i>44</i>
<i>Figura 16. Trajectòries dels autobusos.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 17. Evolució d'interval de pas entre els parells d'autobusos 4-5 i 5-6.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 18. Evolució d'interval de pas entre els parells d'autobusos 5-6 i 6-7.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 19. Evolució d'interval de pas entre els parells d'autobusos 6-7 i 7-8.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 20. Evolució d'interval de pas entre autobusos respecte comportament sinusoïdal oscil·latori esmorteït.....</i>	<i>47</i>
<i>Figures 21,22 i 23. Estratègia S2 i $f_a=0,1$</i>	<i>49</i>
<i>Figures 24, 25 i 26. Estratègia S2 i $f_a=0,05$</i>	<i>49</i>
<i>Figures 27,28 i 29. Estratègia S2 i $f_a=0,01$</i>	<i>50</i>
<i>Figures 30,31 i 32. Estratègia S2 i $f_a=0,05$</i>	<i>50</i>
<i>Figura 33. Esquema de propagació de la pertorbació al llarg de la línia segons parada</i>	<i>52</i>
<i>Figura 34. Comparativa entre nombre d'autobusos necessaris i el temps de cicle per a una pertorbació de 3 minuts i un ST de 4,5 minuts per a l'estratègia S0.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 35. Comparativa entre el temps de viatge total i el coeficient de variació d'interval per a una pertorbació de 3 minuts i un ST de 4,5 minuts per a l'estratègia S0.</i>	<i>55</i>

<i>Figura 36. Comparativa entre el temps de viatge total i el coeficient de variació d'interval per a una pertorbació de 3 minuts i un ST de 6 minuts per a l'estratègia S0.</i>	56
<i>Figura 37. Comparativa entre nombre d'autobusos necessaris i el temps de cicle per a una pertorbació de 6 minuts i un ST de 3 minuts per a l'estratègia S0.</i>	58
<i>Figura 38. Comparativa entre el temps viatge total i el coeficient de variació d'interval per a una pertorbació de 6 minuts i un ST de 3 minuts per a l'estratègia S0.</i>	58
<i>Figura 39. Comparativa entre nombre d'autobusos necessaris i el temps de cicle per a una pertorbació de 6 minuts i un ST de 4,5 minuts per a l'estratègia S0.</i>	59
<i>Figura 40. Comparativa entre el temps de viatge total i el coeficient de variació d'interval per a una pertorbació de 6 minuts i un ST de 4,5 minuts per a l'estratègia S0.</i>	59
<i>Figura 41. Comparativa entre nombre d'autobusos necessaris i el temps de cicle per a una pertorbació de 6 minuts i un ST de 6 minuts per a l'estratègia S0.</i>	60
<i>Figura 42. Comparativa entre el temps de viatge total i el coeficient de variació d'interval per a una pertorbació de 6 minuts i un ST de 6 minuts per a l'estratègia S0.</i>	60
<i>Figura 43 i Figura 44. Costos per a operadors i usuaris per a la simulació sense pertorbació minuts i ST per a l'estratègia S0 de 4,5 i 6 minuts.</i>	61
<i>Figura 45 i Figura 46. Costos per a operadors i usuaris per a la simulació amb pertorbació de 3 minuts i ST per a l'estratègia S0 de 6 minuts.</i>	62
<i>Figura 47 i Figura 48. Costos per a operadors i usuaris per a la simulació amb pertorbació de 6 minuts i ST per a l'estratègia S0 de 3 minuts.</i>	63
<i>Figura 49 i Figura 50. Costos per a operadors i usuaris per a la simulació amb pertorbació de 6 minuts i ST per a l'estratègia S0 de 4,5 minuts.</i>	63
<i>Figura 51 i Figura 52. Costos per a operadors i usuaris per a la simulació amb pertorbació de 6 minuts i ST per a l'estratègia S0 de 6 minuts.</i>	64

1. Introducció

Avui en dia les grans ciutats es troben amb important congestió en la circulació degut al creixement sostingut de mobilitat i la diversitat d'aquesta, juntament amb un augment en quant a la concentració de població. És per això que l'ús no generalitzat del transport públic de viatgers, amb un increment en l'ús del vehicle privat, acaba produint retencions tant als centres com a les perifèries de les ciutats en les seves diferents vies o accessos.

L'actual increment del preu dels carburants, afegit a aquests nuclis de població creixents i la major consciència mediambiental poden suposar una demanda superior de transport col·lectiu en un futur proper. Tot i això, fins al moment aquest augment de la concentració de la població no es veu suficientment reflectit en un augment en l'ús dels transports col·lectius degut a que aquests no són prou atractius, ni en regularitat del servei ni en freqüències. Si part d'aquests passatgers que utilitzen transport privat utilitzessin el transport col·lectiu de viatgers, les congestions tant a nivell dels costos de contaminació que suposen per al medi ambient, com a nivell dels costos en temps de trajecte que suposen per als usuaris, es veurien reduïts.

La congestió acaba afectant directament a les línies d'autobusos ja que comparteixen el mateix espai que el transport privat en les calçades, per tant, per a poder de descongestionar els carrers s'han de planejar línies d'autobusos eficients, amb altes prestacions i amb dret de pas.

En aquest context, l'objectiu general d'un sistema eficient de transport és aconseguir el desenvolupament d'una mobilitat sostenible, la concentració dels serveis en les àrees de baixa demanda per garantir l'accessibilitat "social" del territori, èxit en objectius d'eficàcia i eficiència en termes econòmics i/o financers, etc. Per contra, es presenten objectius oposats que s'han d'igualar, per una banda els usuaris, que requereixen d'una maximització del nivell de servei ofert i per l'altra l'operador que prioritza una minimització dels costos d'operació.

A partir de l'estudi de sistemes o estratègies que permetin la millora del servei, sense que suposin un gran increment en els costos d'operació per a l'operador, s'haurà d'intentar millorar les prestacions, rapidesa, cobertures temporal i espacial i la fiabilitat de les línies d'autobusos. Aquests sistemes o estratègies han de permetre garantir una bona qualitat en el servei, basant-se principalment en la regularitat de pas dels vehicles que acaba sent determinant per a l'elecció dels usuaris. Amb les millores tecnològiques de que disposem avui en dia, es pot disposar de molta informació sobre el posicionament en temps real dels vehicle i de la seva ocupació, i amb la comunicació entre aquests i els centres de control de trànsit i la possible regulació en les fases semafòriques s'intentarà evitar l'aparellat d'autobusos.

La diferència entre els intervals de pas reals i teòrics d'una línia d'autobús es deu als nombrosos i impredecibles esdeveniments que pateixen els vehicles en el servei: invasions dels carrils reservats per a bus, estacionaments il·legals que dificulten el seu pas, la congestió de trànsit, el bloqueig d'interseccions, les fluctuacions de la demanda en parades, etc. Quan un vehicle particular es retarda, aquest es va trobant de forma recurrent més usuaris en les parades i per tant, l'autobús que el segueix aigües amunt

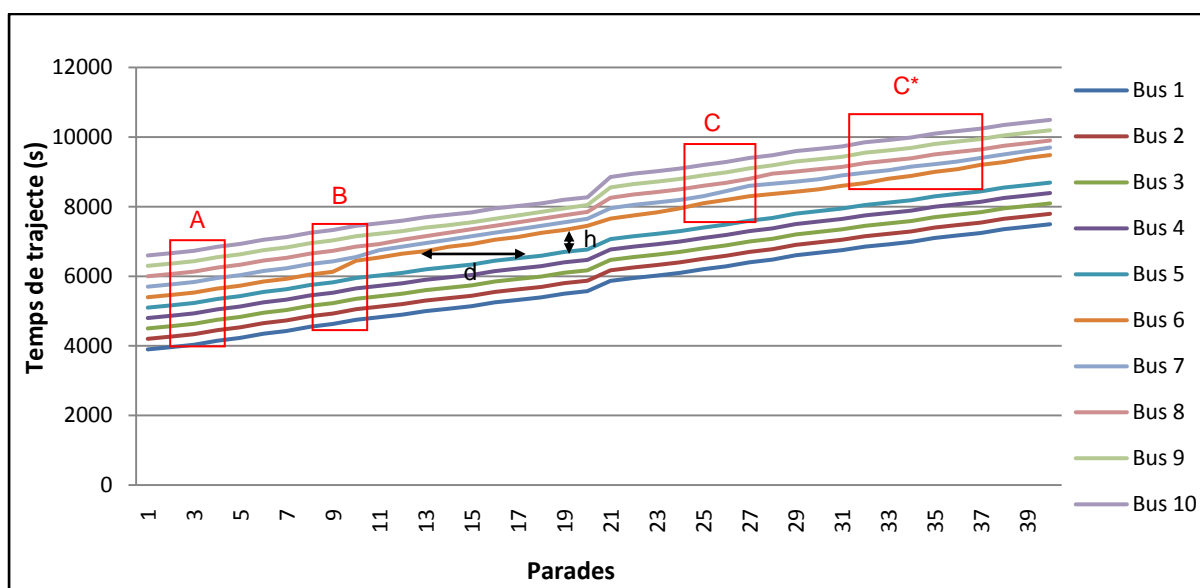
l'acaba trobant o avançant. L'efecte d'aquesta pertorbació local s'estén per tota la flota causant l'aparellat o agrupament de vehicles, arribades irregulars en les parades, inestabilitat d'interval i major temps d'espera dels usuaris. Per tant, garantir l'adherència als intervals de pas teòrics dels vehicles és un tema estratègic per oferir un servei fiable i de mínim cost pels usuaris i per l'operador.

Les figures de trajectòries dels autobusos al llarg d'una línia ens serveixen per analitzar el seu comportament a mida que van avançant al llarg d'aquesta i poder analitzar els aparellats d'una manera gràfica. A partir d'aquestes, es poden comparar les evolucions entre diferents autobusos de la mateixa línia i detectar anomalies que s'hi produeixin.

A la figura 1 es representen les trajectòries de 10 autobusos de la mateixa línia en funció del temps de trajecte acumulat (eix d'ordenades) i la parada en la que es troba cadascun dels autobusos (eix d'abscises). La distància vertical entre les trajectories de dos vehicles consecutius (h) representa la separació temporal entre aquests, mentre que en horitzontal (d), aquesta distància representa la separació espacial.

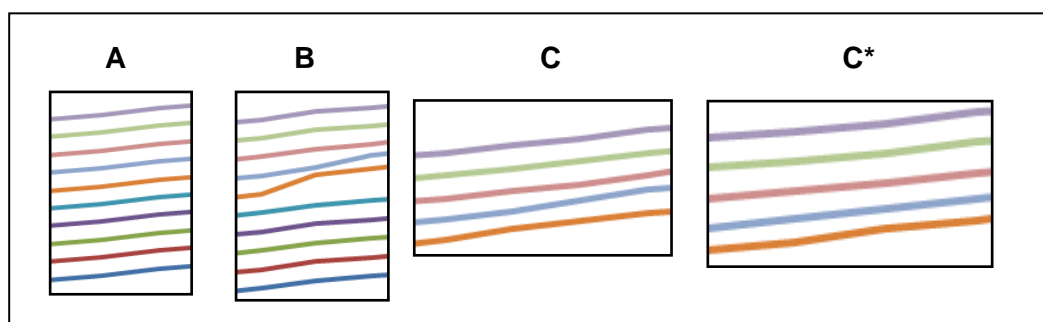
En aquesta evolució es pot veure que l'autobús número 6 pateix una incidència al llarg del seu recorregut (punt B de la figura 1), i aquesta pertorbació s'extén a la resta de la flota.

Figura 1. Trajectòries dels autobusos



A la figura 2 es representen en detall els punts A, B, C i C* representats amb un quadre a la figura 1.

Figura 2. Detall de les trajectòries



Si ens fixem en els detalls de la figura 2 podem veure que en el punt A les trajectòries dels vehicles són constants i tenen el mateix espaiat ja que circulen sense cap anomalia. Els autobusos continuen avançant al llarg de les diferents parades i si ens fixem en el punt B, en la parada 15 es produeix una alteració en l'autobús 6, de manera que això es propaga cap a les parades posteriors, tal i com es mostra en els punts C i C*. En aquests punts es pot veure que primer s'aparellen els autobusos 6 i 7 i seguidament es tornen a separar i els que s'aparellen aleshores són el 7 i el 8. Aquest fenomen és el que es coneix com aparellat d'autobusos en una línia.

Amb l'objectiu d'evitar aquesta situació es realitzarà l'estudi i comparació de diferents estratègies de control de l'aparellat d'autobusos davant d'incidències. Per fer-ho s'analitzaran aquestes en funció del temps de viatge dels usuaris, el coeficient de variació d'interval o el temps de cicle, entre d'altres, que intervenen i són considerades com a més determinants, no s'ha tingut en compte, per exemple, el tipus de parada o de vehicle ni la seva influència.

Primer s'ha procedit a modelitzar el comportament dinàmic de les línies i, a partir d'això, s'han proposat tres estratègies de control de flota. Aquestes estratègies són l'aplicació de punts de control fixos on hi ha un temps d'espera perquè els vehicles puguin evitar retards, el control de la velocitat de la flota i el control semafòric.

L'estructura del document serà la que es detalla a continuació, començant per aquest apartat i seguint amb els objectius d'aquesta tesina.

En el tercer apartat es farà una síntesi de l'estat de l'art, dels elements que intervenen en el funcionament d'una línia d'autobusos, sobre les trajectòries dels autobusos i també dels diferents models de control de flota d'una línia d'autobusos. En el quart apartat s'expliquen les diferents estratègies de control de flota analitzades en una línia.

A continuació, i per a poder aplicar aquestes estratègies és realitza l'explicació de l'elaboració dels diferents models de control, en el cinquè apartat. L'aplicació de l'estratègia a casos pràctics es durà a terme en el sisè apartat, on s'introdueixen els indicadors que s'han tingut en compte i s'exposen i expliquen els diferents problemes considerats, resumint els resultats obtinguts.

Finalment, en el setè apartat s'expressen les conclusions i a continuació, i com a vuitè i últim punt, es detalla la relació de referències bibliogràfiques emprades. Addicionalment s'afegeix un apartat d'annexes on s'inclou el codi del programa implementat i un exemple de resum de les dades obtingudes per a cadascuna de les simulacions.

2. Objectius

L'objectiu d'aquesta tesina és combatre les irregularitats i aparellats que es donen en una línia d'autobusos degut a possibles incidències.

Per a combatre aquest fenomen, s'han desenvolupat estratègies de control que contraresten l'evolució natural de la flota a agrupar-se i oferir intervals de pas variables. La primera estratègia és introduir un temps de marge en els horaris de pas en algunes parades (holding points), que permet contrarestar el retard que pateixen els autobusos en un tram en qüestió. Una altra estratègia és la reducció de la velocitat dels autobusos que guarden un interval de pas inferior al teòric amb l'autobús precedent. La tercera consisteix en atorgar prioritat semafòrica dinàmica a aquells vehicles endarrerits juntament amb una reducció de velocitat a fi que recuperin el retard acumulat.

A partir de l'implementació d'una eina de simulació de les estratègies s'intentarà avaluar i comparar els efectes aconseguits amb l'aplicació d'aquestes en diferents escenaris de línies d'autobús amb incidències en el servei. S'avaluarà la regularitat del servei aconseguit (coeficient de variació d'interval), el temps de viatge de tots els usuaris i el nombre de recursos a utilitzar per a cada estratègia. També s'analitzaran els efectes de diferents valors en la prioritat semafòrica i els valors de la combinació d'estratègies.

Finalment s'identificarà l'estratègia que doni un resultat més satisfactori per a diferents combinacions de demanda de la línia i alteració temporal del servei.

3. Planificació estratègica, tàctica i operacional de línies d'autobusos

En el procés de planificació d'una línia d'autobusos hi ha tres fases diferenciades que la defineixen, que són: el disseny del recorregut, el disseny de les freqüències de pas dels vehicles i, per últim, la regularitat d'horaris i assignació de recursos.

La planificació i gestió d'una xarxa d'autobusos són processos complexos que posen de relleu la necessitat de trobar un equilibri o balança entre el temps d'espera i el cost de viatge dels passatgers, i el cost operacional associat a l'operador. Aquestes han de trobar un equilibri entre aquests costos oposats en les tres fases.

L'objectiu d'aquesta tesina serà l'anàlisi de la tercera fase, la regularitat d'horaris a partir del compliment dels intervals de pas.

3.1. Disseny estratègic

Aquesta fase es basa en el disseny estratègic i planificació d'una línia d'autobusos que s'inicia amb la planificació del recorregut i la definició del nombre de parades de la mateixa. Aquests aspectes es poden dimensionar des de diferents punts de vista, per exemple, mitjançant un estudi de les necessitats de transport de la població a través del territori intentant afavorir el major nombre de gent, o bé, treballant partir d'una línia existent, allargant-la per un o pels dos extrems; aquest fet és habitual en una fase de creixement d'una ciutat.

El disseny del recorregut és fonamental per un correcte funcionament de la línia, tot i que les línies d'autobusos tenen relativa flexibilitat, un error en aquesta fase de disseny suposaria uns elevats costos econòmics. En aquest sentit, si un cop posat en servei un determinat recorregut es cregués convenient fer un canvi de recorregut, seria possible modificar-lo sense moltes conseqüències. El cas més problemàtic seria el de traslladar les marquesines de les parades i informar dels canvis als passatgers afectats. Si el canvi de la línia comportés un canvi de recorregut i es fes per altres corredors ja existents, s'hauria també de posar la informació a disposició dels viatgers, però només afegint a la retolació de les parades el nom de la línia corresponent ja seria suficient.

L'altre variable que determina el disseny del recorregut de la línia és la cobertura i accessibilitat del servei. És a dir, quin és el potencial de gent a qui es pot donar servei en funció del lloc de pas de la línia i si hi ha facilitat per arribar a accedir al servei, tant per temes de l'autobús, marquesina, com per l'accessibilitat dels carrers adjacents.

Aquesta primera fase es basa en la identificació de les millors rutes per a cobrir el territori afectant l'accessibilitat del passatger i els quilometratge de l'operador. Un gran nombre de contribucions científiques han estat desenvolupades amb models definits per Lampkin (1967), Newell (1979), Ceder (1986). En recents contribucions d'altres autors com Pattnaik (1998) i Tom (2003) s'han creat models per a minimitzar el cost total pels

passatgers i l'operador mitjançant la implementació d'intel·ligència artificial (algorismes genètics i d'altres de metaheurístics).

Altres aspectes a tenir en compte seran la proximitat a les cotxeres, la disponibilitat de carril bus propi i les característiques del mateix (amplada, segregació física o pintada...), la disponibilitat de situar l'origen i final en un lloc on s'hi puguin estacionar amb facilitat el nombre d'autobusos necessari, la disponibilitat d'espai per a situar sanitaris a disposició dels conductors, la facilitat dels autobusos per circular per carrers amb pendents pronunciats o corbes de radi petit, el pas per vies molt estretes o amb un alt índex de cotxes aturats a la calçada i la interacció amb les interseccions siguin semafòriques o no.

Tots aquests aspectes no seran objecte d'estudi en aquesta tesina, però tenen una influència directa en el servei que podrà oferir la línia i, per tant, en totes les variables que intervindran en el nostre model teòric. Principalment afectaran a la velocitat de circulació i també en la quantitat de passatgers que potencialment podem beneficiar.

3.2. Disseny tàctic

La segona fase de planificació, en la que s'haurà de decidir el mode de funcionament, és el disseny tàctic, on es s'estableix la freqüència de circulació. La freqüència és el nombre de vegades que passa un autobús per unitat de temps per una parada, i es calcula per a sincronitzar-la amb la demanda esperada d'una línia.

El problema del disseny i optimització de rutes i freqüències és més complicat i s'ha estudiat menys. Baaj i Mahmassani (1991) van trobar dificultats en la formulació del problema, en definir les variables de decisió i la funció objectiu, en la no linealitat i no convexitat del problema, en la naturalesa combinatoria, en els múltiples objectius del disseny i en la disposició espacial de les rutes.

Desaulniers i Hickman (2003) realitzen una anàlisi de les diferents planificacions en rutes amb freqüències fixades, tal com es detalla a continuació.

Els primers estudis enfocats en determinar freqüències van ser formulades per Scheele (1980) amb un programa no lineal basat en la minimització del temps total de viatge dels passatgers. En un altre sentit que Scheele (1980), l'objectiu és minimitzar el nivell màxim d'ocupació en el punt de càrrega màxima.

Furth i Wilson (1982) van presentar un model per determinar intervals en una ruta que maximitzessin els consums dels passatgers, en quant a temps d'espera, com una funció de l'interval.

S'han realitzat treballs addicionals per a casos especials com són les rutes d'alta demanda per part de Furth (1987), Ceder (1989), Jordan i Turnquist (1979)

El dimensionament d'una flota d'autobusos vindrà marcat per la demanda que tinguem o la oferta que vulguem oferir, en funció dels recursos que disposem al moment d'iniciar la mateixa i els recursos que podrem anar obtenint al llarg de la vida de la línia. En aquest sentit, un augment de la freqüència de pas o de la cobertura redueix el cost d'espera o d'accés dels passatgers però també suposa un augment dels recursos necessaris per a

operar la ruta. El més habitual és calcular la freqüència per a servir la ruta a partir del potencial de passatgers i la capacitat de la infraestructura (Ceder (1984)).

3.3. Control operacional

Aquesta tercera fase de la planificació és la que determinarà l'assignació de flota necessària per a complir amb les freqüències establertes en la fase tàctica.

En aquesta també es realitza l'assignació de conductors, la construcció d'horaris, l'operació de mesures de prioritat i regulació semafòrica d'autobusos.

Hi ha dos tipus de planificació en quant a oferta d'horaris del transport col·lectiu de viatgers que condicionen eminentment la seva operació, i aquestes són l'explotació per horari o per interval de pas.

- Explotació per horari: es basa en l'organització dels serveis per a complir un determinat temps exacte de pas per cada parada i normalment s'aplica per intervals de pas superiors a 15 minuts.
- Explotació per interval: la seva organització dels serveis es realitza a partir de la fixació d'un interval de temps determinat entre la circulació consecutiva de dos vehicles i s'aplica en línies amb freqüències de servei elevades (inferiors a 15 minuts).

L'anàlisi realitzat es basarà en l'explotació de línies per interval.

3.4. Elements de control que intervenen en una línia d'autobús

Hi ha una diversitat d'elements que intervenen en l'operació i explotació d'una línia d'autobús com poden ser el tipus de vehicle, ja que aquest pot canviar els temps de pujada i baixada, el tipus de parades o la disponibilitat de carril bus de manera que aquests puguin circular separats del trànsit de vehicles privats.

Els elements més destacats que intervenen en la fase que estudiarem, la regularitat d'horaris, són els semàfors, els Sistemes d'Ajuda a l'Explotació (SAE) i els Centres de Control del Trànsit.

3.4.1. Semàfors

Els semàfors normalment es trobaran en les interseccions entre parades, i el la seva sincronització afectarà en gran mesura al funcionament de la línia. Es poden aconseguir millores en els intervals de pas dels autobusos si aquesta sincronització és adequada per a l'interval de pas, afectant per contra els vehicle privats que circulen per la mateixa via.

Una de les opcions que tenim és sincronitzar la via per a vehicles privats i que el temps de verd s'incrementi en cas que l'autobús tingui demora acumulada. Per a aconseguir aquest fenomen haurem de disposar d'algun sistema que determini que l'autobús porta demora, un altre que determini la posició de l'autobús i un altre que canviï el funcionament temporal del cicles semafòrics per a permetre el pas en aquella intersecció.

3.4.2.Sistemes d'Ajuda a l'Exploració (SAE)

El Sistemes d'Ajuda a l'Exploració (SAE) són de gran utilitat a l'hora de gestionar una xarxa de línies d'autobusos. Per mitjà de la incorporació de tecnologies de localització, de Sistemes d'Informació Geogràfica (GIS) i comunicacions mòbils es poden proporcionar un ventall de funcions de control gestió i regulació del servei i informació als passatgers. Els sistemes SAE aplicats a una línia d'autobusos permeten oferir informació en temps real i també una recopilació de les dades per a un posterior anàlisi i així millorar la gestió de la mateixa.

El nucli principal d'aquest sistema és el sistema de localització per satèl·lit (GPS) unit a un sistema de transmissió de dades per mitjà d'un sistema de comunicacions, generalment ràdio. Així ens proporciona la possibilitat de disposar d'una eina mitjançant la qual es coneix la posició dels vehicles i les incidències que es produeixen, sobre una cartografia GIS. El SAE es complementa amb sistemes d'informació a l'usuari tal com plafons a l'interior o a l'exterior dels vehicles i informació a l'usuari via web

3.4.3.Centres de Control de Trànsit (CCT)

Les grans ciutats disposen de Centres de Control del Trànsit (CCT) per a gestionar aquest i el seu funcionament es basa en obtenir informació de l'estat del trànsit per mitjà de càmeres de control repartides per les principals vies, a més de mesuradors de flux de vehicles com poden ser espires magnètiques. A part de conèixer l'estat del trànsit, la seva funció és regular-lo mitjançant els semàfors. El conjunt de semàfors està coordinat des d'aquest centre de control i tenen una coordinació integral que permet l'optimització de l'ús del temps i de l'espai disponible a la ciutat.

Des del CCT es pot actuar sobre cadascun dels semàfors del sistema de forma puntual per a donar prioritats en algun dels sentits, per exemple, si es produeix una emergència i es requerida la presència de bombers es pot donar preferència de verd a tots els carrers que composaran la ruta dels vehicles d'emergència, des del parc fins al punt on es produeix l'emergència.

Pel que fa als autobusos s'hauria de fer una coordinació entre el Centre de Control d'Autobusos i el CCT per donar preferència semafòrica als autobusos en cas de demora.

3.4.4.Coordinació entre SAE i CCT

Avui en dia, la major part de les ciutats disposen de CCT i també la major part de les xarxes d'autobusos tenen en funcionament SAE. El problema principal és que no hi ha interacció entre els dos sistemes i no es pot fer una sincronització semafòrica en temps real degut a que els dos centres estan gestionats cadascun d'ells per organismes diferents, hi hauria d'haver voluntat per arribar a acords de col·laboració. Per a que sigui possible un funcionament adequat, els acords de col·laboració i coordinació entre els dos centres haurien d'establir sota quins preceptes o condicionants es pot actuar i també en quin sentit es fa l'actuació, és a dir, quin és el temps que es podria allargar un cicle semafòric.

3.4.5. Localització automàtica de vehicles (AVL)

La localització automàtica de vehicles, de l'anglès *Automatic Vehicle Location (AVL)* es realitza a partir de la localització geogràfica dels vehicles per mitjà de GPS i la transmissió de la informació via GPRS o satèl·lit del vehicle al receptor.

Aquesta tecnologia és molt útil en l'administració de flotes de transport, entre d'altres. A l'actualitat la majoria de vehicles van equipats amb aquesta tecnologia i ofereix grans avantatges com poden ser l'anàlisi de les flotes, els temps i la localització, bloqueigs o retards, el que permet millorar el servei.

També pot ajudar a la reducció de costos, ja que amb aquest sistema es pot saber la quantitat de combustible gastat pels vehicles, juntament amb dades sobre acceleracions i frenades, que permetran programar possibles manteniments preventius o correctius.

Tots aquests elements han de permetre garantir un control de la regularitat òptim. Quan això no succeeix, es presenta el fenomen de l'aparellat d'autobusos.

4. Estat de l'art en l'anàlisi de control de la regularitat

El control i gestió d'una línia d'autobusos és un procés dinàmic on interactuen els vehicles i els passatgers que volen realitzar un trajecte, però quan un autobús pateix un endarreriment en un tram, implica una fluctuació que s'extén per tota la flota produint aparellats i majors intervals entre autobusos, a més d'augmentar els temps d'espera dels passatgers. A partir de la diferència entre el temps d'arribada real i el teòric es poden obtenir espaiaments i intervals de pas, que permetran la realització de models que permetin millorar el comportament d'aquesta flota (Daganzo (2009)).

Els models de control de flota, que s'expliquen en aquest apartat, intenten reduir els efectes de qualsevol tipus d'alteració en el servei de les flotes d'autobusos de manera que aquestes tinguin la menor repercussió possible i no suposin elevats costos per als usuaris, en temps, i per a l'empresa que gestiona la línia, econòmicament.

4.1. Models de control

Amb el pas dels anys i el creixement de les ciutats ha sorgit la necessitat de realitzar estudis sobre estratègies per a regular i gestionar eficientment les línies d'autobusos. Diversos autors han realitzat alguns estudis fins al moment, a continuació s'ha realitzat un petit recull dels més significatius.

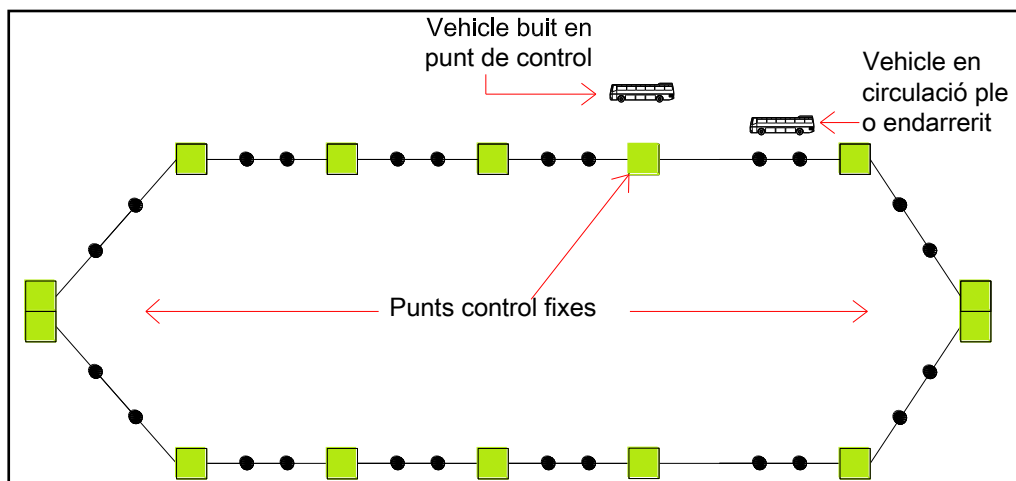
Abans però cal resaltar que dins de totes aquestes propostes, s'han de tenir en compte diferents elements que intervenen en un sistema com són els passatgers i els autobusos. Alguns d'aquests models no evaluen els efectes dels passatgers, de manera que quan aquests realment siguin determinants, el model en concret perdrà credibilitat.

Les noves tecnologies han permès grans avenços en el camp de la gestió dinàmica de les línies d'autobusos, permetent el seguiment de la posició dels vehicles en temps real, el què suposa una eina determinant en el control de flotes de transport públic. També la millora informàtica permet la implementació d'algoritmes computacionals que avaluin el comportament dels temps i demores dels vehicles.

4.1.1. Models de punts de control fixos (*holding points*)

Els models de *holding points* tenen gran importància i es basen en la incorporació en les línies d'autobusos uns punts al llarg del recorregut on els autobusos disposen d'uns temps d'espera que els permeten ajustar-se a la resta de la flota evitant endarreriments. Aquests normalment es situen a les capçaleres de la línia, però també es poden incorporar al llarg de la línia. Com es pot veure a la figura 3, es col·loquen punts de control un al llarg del recorregut i a les capçaleres, per als casos on vehicles circulin endarrerits o plens, de manera que no es produeixin alteracions en la línia.

Figura 3. Distribució de parades amb punts de control fixos



S'han realitzat moltes investigacions sobre aquests models, i alguns dels investigadors que van tractar aquest tipus de model amb punts de control fixos van ser Turnquist (1981) i Rossetti (1998), que van proposar estratègies per a millorar la fiabilitat dels sistemes d'autobusos així com el rendiment del sistema mesurat, basant-se en el temps límit que l'autobús es trobava retingut en un punt de control durant un cert temps abans de continuar amb la ruta. Posteriorment molts altres autors han realitzat noves aportacions a aquest model.

A l'actualitat, Van Oort (2011) ha realitzat una investigació sobre la fiabilitat del servei de línies d'autobusos i el disseny de xarxes urbanes. Aquesta investigació introdueix els efectes dels serveis irregulars sobre els passatgers i el seu comportament, i els efectes del temps variable de viatge tant a la regularitat com al temps de viatge dels passatgers.

Per millorar la fiabilitat en un sistema amb temps de pas fixats estudia els efectes tant a nivell de planificació, com són el disseny de la parada, la longitud de la línia i la coordinació de línies múltiples, com a nivell estratègic, com són el temps de viatge i els punts de control fixats al llarg de la línia.

Per últim planteja realitzar anàlisis cost – benefici tant a nivell estratègic com de planificació, sobre les millores en el benestar dels passatgers, afegint-los dins els anàlisis de projectes de transport públic.

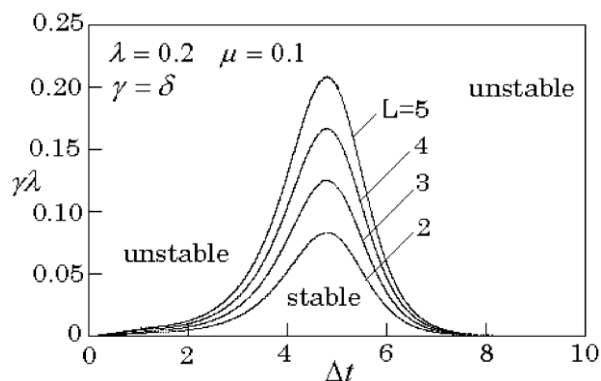
Aquests models són els aplicats fins a l'actualitat, tot i que les investigacions que s'estan portant a terme permetran l'aplicació d'altres models properament.

4.1.2. Models de control de la velocitat de la flota

Nagatani (2001) va realitzar un estudi que tracta el comportament d'autobusos i de passatgers en una línia circular amb moltes parades on es produeix una alteració en un dels autobusos, i la relació entre els endarreriments dels vehicles i el nombre de passatgers que viatgen en aquests. Una de les conclusions extreïdes és que l'augment de l'interval de pas és proporcional a l'augment de viatgers.

També analitza la influència del salt de parades quan un vehicle circula endarrerit per retornar a l'equilibri, i extreu a partir de les diferents simulacions unes zones d'estabilitat on la circulació d'autobusos es manté estable, la figura 4 mostra aquesta zona d'estabilitat determinada a partir de la relació entre l'interval de pas i el producte dels coeficients de pujada i baixada de passatgers. Per sota de la corba en funció de la distància entre parades, la circulació dels autobusos es manté homogènia, mentre que per sobre es produeixen fluctuacions i inestabilitats.

Figura 4. Diagrama teòric de fase en l'espai $(\Delta t, \gamma\lambda)$ per $L=2-5$ on $\lambda=0,2$, $\mu=0,1$ i $\gamma=\delta$. Les corbes representen les línies d'estabilitat neutral. Per sota d'aquestes, el flux d'autobusos homogeni és estable i per sobre d'aquestes es torna inestable. Font: Nagatani (2001)



A més de tot l'anterior, cal afegir que l'autor demostra la utilitat d'investigar els comportaments dels autobusos i dels viatgers en una ruta amb l'ús del model de rutes d'autobús ampliat.

Daganzo (2009) va realitzar un estudi on basant-se en estudis anteriors, afirma que no es poden mantenir intervals de pas curts en línies amb molta demanda i que afegir autobusos en certs punts de la línia tampoc funciona.

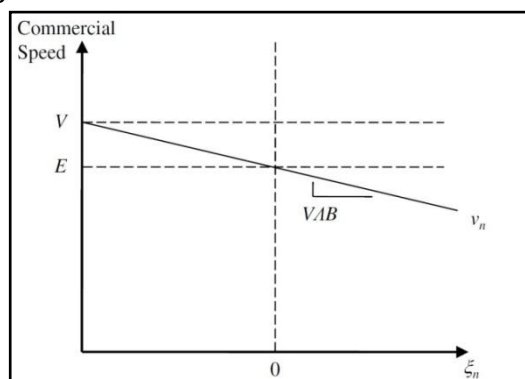
Els objectius de la seva recerca són analitzar un esquema de control adaptatiu de velocitat que determina els temps on seran necessaris autobusos de més, en una línia basada en informació d'intervals a temps real. Aquest mètode requereix menys *slack time* (temps d'espera en punts fixos) que el convencional, produeix intervals dins d'una tolerància determinada amb una aproximació horària determinada. També permet als autobusos viatjar més ràpid, reduint els endarreriments del vehicle deguts als passatgers i augmentar la productivitat. Per poder augmentar la velocitat de la flota, proposa el salt de parades refusant la recollida de passatgers. A més, considera que a part de ser un molt bon sistema per a sistemes amb servei freqüent, també pot ajudar al control dels intervals de pas en sistemes amb horari fixat i llargs intervals de pas.

Per altra banda, aquesta regularitat de pas la realitza a partir d'una reducció de la velocitat comercial el que suposa que els costos per a usuaris, en quant a temps, i per a l'operador, en quant a nombre de vehicles requerits, seran superiors.

Finalment, segons Pilachowski (2009) la principal causa de l'aparellat d'autobusos és que els autobusos amb majors espaïaments entre parades viatgen més lentament i s'endarrereixen més, que els que tenen espaïaments menors. Així, per evitar l'aparellat, ho planteja a partir de la relació entre l'espaïament i la velocitat comercial dels autobusos, que un increment en l'espaïament es correspon amb un increment en la velocitat comercial. El problema d'aquest model és que si disminuïm la velocitat s'incrementarà la fiabilitat del sistema, però això suposa també disminuir la mitjana comercial del sistema, majors temps de viatge i possiblement un augment en el nombre d'autobusos per una mateixa freqüència de servei.

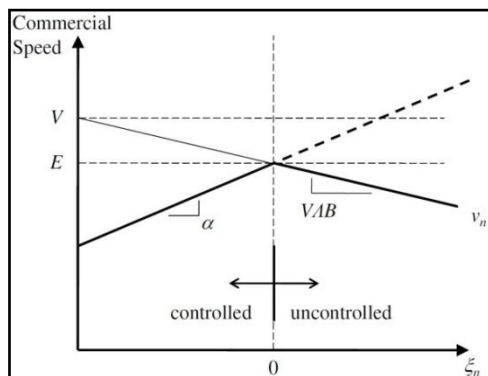
A partir de la figura 5 es mostra què li succeeix a la velocitat comercial en funció de ξ_n , que representa la diferència entre espaïaments teòrics i reals ($\xi_n = s_{n,t} - S$, on $s_{n,t}$ és l'espaïament real entre vehicles i S el teòric). Quan aquest espaïament disminueix ens trobarem a l'esquerra del 0, amb velocitats superiors, però si augmenta, passarem a una significativa reducció de la velocitat i descontrol de la flota.

Figura 5. Evolució de la velocitat comercial en funció de ξ_n (sense control de velocitat)



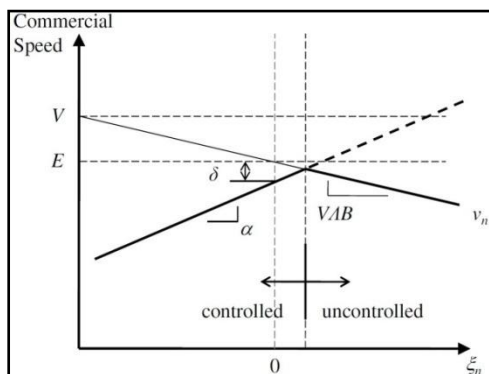
A la següent figura es mostra la proposta de control de velocitat, per fer-ho l'autor defineix α com la taxa de creixement de la velocitat comercial en relació a un augment en l'espaïament entre autobusos. El punt d'intersecció defineix el límit superior controlat, a partir d'aquest punt un autobús amb major espaïament viatjarà sense control.

Figura 6. Evolució de la velocitat comercial en funció de ξ_n (amb control de velocitat)



Per poder mantenir el control dels autobusos amb un espaïament major la velocitat comercial s'ha de disminuir de manera que la intersecció d'equilibri es produeixi més a la dreta tal i com es mostra a la figura 7. La reducció δ de la velocitat comercial permet que un autobús pugui tendir a l'equilibri amb un espaïament major, sempre i quan no es superi la intersecció. A partir d'aquell punt seguirà suposant que no serà capaç de tornar a l'equilibri i s'endarrerà. Això suposa que el sistema no es robust per a elevades perturbacions.

Figura 7. Evolució de la velocitat comercial en funció de ξ_n (amb control i reducció de velocitat)



D'aquesta investigació es pot extreure que s'aplica una aproximació de model continu per examinar el comportament en una ruta d'autobusos assumint que l'efecte de generació de passatgers sobre la velocitat comercial dels autobusos és continua, i la velocitat i la posició d'aquests s'aproxima amb el temps. A partir d'aquest model es proposa un control per evitar l'aparellat d'autobusos i permetre als autobusos mantenir un espaïament constant determinat per la velocitat de cadascun d'ells depenent de la posició relativa dels autobusos contigus (anterior i posterior).

El control produeix unes variacions fitades en l'espai de manera que no es produirà l'aparellat. Addicionalment defineix una relació determinada entre els paràmetres de control i la variació resultant en espai.

4.1.3. Models de control semafòric

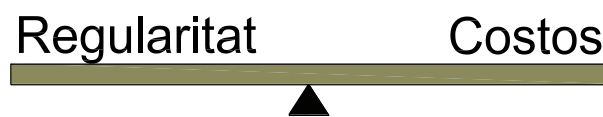
Estrada et al (2007) van realitzar una investigació on s'estudia el comportament d'una línia d'autobusos a través de simulacions de diferents casos aplicant tres estratègies, una amb només punts de control fixos, la segona combinant els punts de control fixos i el control de velocitat dels autobusos, i la tercera, afegint a l'anterior un control semafòric que permetria que el semàfor incrementés en un temps determinat la seva fase de verd en cas que l'autobús que arriba se'l trobés vermell però afegint aquest increment ho pogués fer.

A partir de la generació de diferents situacions es conclou que la millor estratègia és la que combina els tres models, com podria ser previsible.

4.1.4. Equilibri en els models

Tal com s'ha comentat anteriorment en dos dels estudis, tant Daganzo (2009) com Pilachowski (2009), plantegen una disminució de la velocitat comercial per augmentar la regularitat. El segon també considera *holding points*, fet que també redueix la velocitat del sistema, ja que hi ha més autobusos al llarg de la línia. És cert que ambdós estratègies suposen una millora en regularitat ja que les pertorbacions tenen una menor influència en tota la línia, però tant a nivell dels usuaris com de l'operador serà perjudicial. Per als passatgers suposa un augment en els temps de trajecte i d'espera, mentre que per a l'operador, un increment en el nombre de vehicles de la flota per poder mantenir el servei. Tant en el model de punts de control fixos com en el de velocitats, per poder millorar o mantenir la regularitat s'ha de compensar amb una disminució de la velocitat, que acaba suposant un increment en els costos tant en temps com en recursos necessaris.

Figura 8. Equilibri entre regularitat i costos



L'única estratègia que pot mantenir o millorar la regularitat sense un augment en els costos deguts a la disminució de velocitats, de les comentades amb anterioritat, és l'estratègia de control que combina totes les comentades anteriorment, els punts de control fixos i els controls de velocitats i semàfors.

Així doncs l'objectiu final dels diferents models de control de flota ha de ser el de mantenir l'equilibri entre les dues variables, regularitat i velocitat, i que el control i servei d'aquesta sigui el millor possible amb la màxima velocitat comercial.

En apartats posteriors s'intentarà contrastar l'equilibri entre aquestes dues.

5. Modelització del control de flota

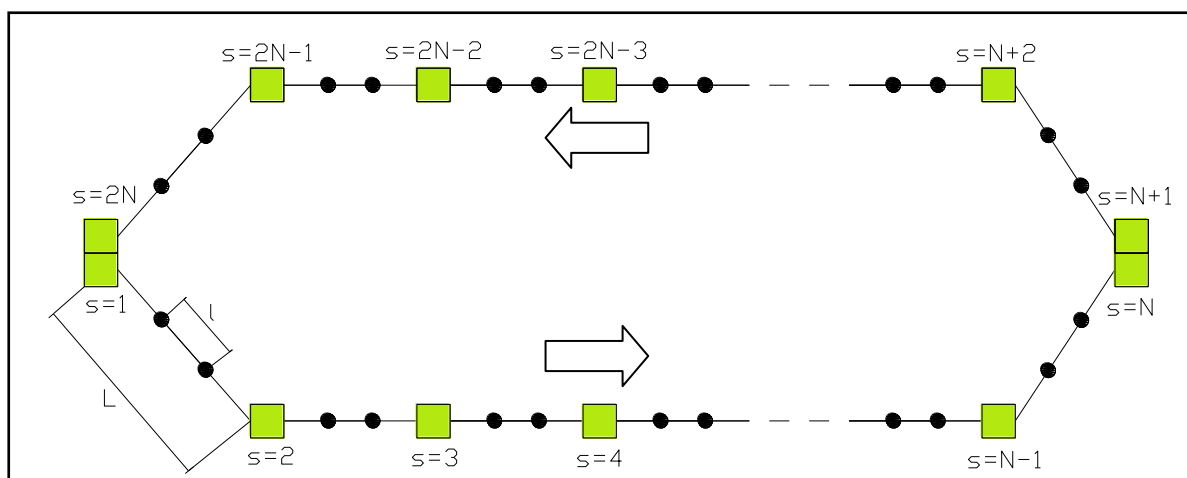
Aquest apartat es centra en explicar la formulació del model de control de flota per a poder realitzar l'anàlisi de les diferents estratègies. El model utilitzat està basat en l'article Estrada et al (2007).

A partir del model base de funcionament s'hi introdueixen modificacions per tractar les estratègies de control independentment i poder-les analitzar en detall. El model numèric utilitzat està desenvolupat per a reproduir cadascuna d'aquestes estratègies de control i avaluar els efectes oscil·latoris i les variacions dels intervals.

Es considera una ruta d'anada i tornada entre dos punts (A i B) i s'etiqueten les parades com a $s=1, \dots, N$, on N és un nombre parell i es considera que els trajectes d'anada ($1, N$) i de tornada ($N+1, 2N$), considerant que els extrems de la línia $s=1 - 2N$ i $s=N - N+1$ són els mateixos punts d'inici i final de cadascuna de les línies.

La distància entre les parades es defineix com L excepte entre les parades $s=1$ i $s=2N$, i entre $s=N$ i $s=N+1$ on aquesta és 0 (punts d'inici i final de línia). Cadascun dels autobusos s'etiqueta com $j=1,...,J$ i viatgen des de la parada 1 fins a $2N$ aturant-se a totes les parades. Es considera que l'autobús $j = j^*+1$ és darrera del bus j^* , per tant, el següent. També s'assumeix que la ruta segueix un carrer principal amb interseccions regulades per semàfors coordinats per un Centre de Control de Trànsit (CCT). Aquestes interseccions ($i = 1,...,I$) tenen el mateix temps de cicle (T_c en segons) i el mateix temps de verd (ΔT_v en segons), i per simplicitat es considera que estan distribuïdes equiespaiades entre les parades, així la distància entre les interseccions I^* i I^*+1 es $I^*=L/n$ ($I^*=1,...,n$). La sincronització dels semàfors en totes les interseccions de la línia s'ha calculat per evitar que els vehicles privats s'aturin, de manera que si no existeix cap anomalia tots els vehicles privats trobaran els semàfors verds.

Figura 9. Distribució de parades amb punts de control fixos



5.1. Variables del sistema

El model elaborat requereix una sèrie de variables per al seu funcionament i que aquest quedi totalment definit. A continuació es detallaran les diferents variables que intervenen en el model, s'explicarà cadascuna d'elles i els valors adoptats per a les simulacions posteriors i les seves unitats.

5.1.1. Nombre de parades

El nombre de parades (N) del tram d'anada de la línia serà el mateix que el nombre de parades del tram de tornada. Es numeren començant per la primera parada com a número 1 en el punt A. La parada N és la última parada en el tram d'anada en el punt B. La parada $N+1$ és la primera parada en el tram de tornada i coincideix amb l'última parada en el tram d'anada. La parada $2N$ també és la mateixa que la parada 1 i és l'última de la tornada i la primera de l'anada.

5.1.2. Nombre de parades màxim

El nombre de parades màxim estableix el nombre que s'utilitzarà per a realitzar els càlculs amb el programa Visual Basic, representa el nombre d'iteracions que aquest realitzarà, sense cap relació amb les equacions del model teòric. Els càlculs s'aturen quan el primer autobús arriba a la parada de càlcul màxim definida.

5.1.3. Interval

L'interval (H) és el temps de pas entre dos autobusos consecutius i s'expressarà en segons. És un paràmetre important en el funcionament d'una línia, ja que és l'invers de la freqüència d'aquesta línia.

5.1.4. Longitud entre parades

La longitud entre parades (L) és la distància en metres entre parades consecutives i es defineix per totes les parades excepte entre les parades esmentades anteriorment, entre N i $N+1$ i entre $2N$ i 1, en les que aquesta distància serà 0.

5.1.5. Nombre d'interseccions

El model considera un total d'interseccions (i) equiespaiades al llarg de tot el trajecte.

5.1.6. Temps de verd i Temps de cicle semafòric

El temps de verd (T_v) és el temps transcorregut entre l'instant de posada en verd del semàfor fins a l'instant on passa a vermell, i el temps de cicle semafòric (T_{cs}) és el temps transcorregut entre els instants de temps consecutius de posada en verd d'un semàfor.

5.1.7. Pertorbació

La pertorbació (U) és el temps amb que es penalitza un vehicle en una parada per efecte d'una incidència durant el qual dit vehicle no es mou. Aquesta alteració podria ser deguda a qualsevol esdeveniment relacionat amb una alteració del trànsit (vehicle avariat que impedeix el pas, problema de funcionament del propi autobús, etc.). Aquesta pertorbació s'introdueix en el model per incrementar els problemes en els intervals de pas dels autobusos i avaluar la recuperació en funció de les diferents estratègies de control.

5.1.8. Parada en la que es produeix la pertorbació

La parada en que es produeix la pertorbació no és indiferent ja que depenent del perfil de càrrega utilitzat en el model, varia la distribució d'ocupació del vehicle.

5.1.9. Vehicle que sofreix la pertorbació

Els autobusos s'han numerat com a $j=1, \dots, J$, on J és el darrer vehicle igual al nombre total d'autobusos per al cas estudiat.

5.1.10. Velocitat comercial

La velocitat comercial (v_c) és la velocitat de circulació dels autobusos entre les parades incloent les velocitats d'acceleració i desacceleració i s'estudia en m/s.

5.1.11. Taxa d'arribades de passatgers

La taxa d'arribades de passatgers (λ) és el paràmetre que es refereix al flux d'arribada de passatgers a les parades, es defineix per a cada sentit de la línia (anada i tornada) i representa el nombre de passatgers per unitat de temps que accedeixen a la línia per cadascun dels sentits (passatgers/hora). La multiplicació d'aquesta taxa pel temps de pas en cada parada entre autobusos, obtenim el nombre de passatgers que pugen a cadascuna d'elles.

5.1.12. Perfil de càrrega

A partir de les dues taxes d'arribades a les parades, es realitza una distribució espacial de l'ocupació de passatgers dins l'autobus al llarg de la línia a partir d'una matriu origen-destinació.

5.1.13. Temps de marge en capçalera (slack time)

Aquest temps de marge (slack time, ST) és el temps que es fa esperar cadascun dels autobusos en capçalera (tant en sentit d'anada com de tornada) abans de reincorporar-se a la circulació en l'**Estratègia S0**.

5.1.14. Temps mínim descans conveni en una capçalera

El temps mínim de descans per conveni en una capçalera és el temps que s'ha d'aturar cadascun dels autobusos per al descans del conductor.

5.1.15. Factor d'ajust d'interval (f_a)

El factor d'ajust d'interval (f_a) és un factor adimensional que pren valors entre 0 i 1. Es un factor que regula la capacitat de resposta en la variació de velocitats dels vehicles per fer front a retards. En cas que el factor sigui pròxim a 1 els canvis de velocitat són molt bruscos i gairebé es recupera l'interval desitjat en la següent parada, produïnt una reducció de la velocitat, mentre que si és pròxim a 0, la velocitat és constant i es mantindrà l'interval real sense variació.

5.1.16. Temps unitaris de pujada i de baixada

Els temps unitaris de pujada (γ) i de baixada (δ) són els temps mitjos de pujada o baixada a l'autobús per passatger. Existeixen diversos factors que influeixen a aquests temps, i són els tipus d'obertures de les portes, sistemes de validació de bitllets, el grau d'ocupació del vehicle, etc.

5.1.17. Capacitat

La capacitat (C) defineix el nombre màxim de passatgers que poden transportar els autobusos. Per als autobusos simples es considera una capacitat aproximada de 75 persones i per als articulats d'unes 180 persones.

5.1.18. Variable binària per permetre el salt de semàfors per a recuperar temps

Aquesta variable és discreta i determina si es permet el salt de semàfors allargant el temps de verd en el cas que la estratègia ho permeti (estratègia S2). Hi ha dues possibilitats, que es permeti el salt de semàfors (valor 1) o que no es permeti el salt de semàfors (valor 0).

5.1.19. Increment de temps de verd per al pas de l'autobús (G)

Aquest increment és el temps que es permet allargar el cicle de verd per a permetre el pas de l'autobús i que no hagi de parar per trobar-se el semàfor en vermell.

5.2. Formulació del problema

Un cop definides totes les variables que intervenen en l'operativa d'una línia, cal definir la formulació del problema a considerar.

Tal com s'ha comentat anteriorment, s'han definit dues taxes d'arribada a la parada, i la seva distribució es farà a partir d'un perfil de càrrega, a partir d'una matriu origen-destinació dels viatges, detallada en l'apartat 7.1. A partir d'aquesta distribució de viatges, tenint en compte els temps de viatge, els temps de verd dels semàfors, el cicle del semàfor on ens trobem i per últim els temps de pujada i baixada dels passatgers s'obté el nombre d'autobusos necessaris per a garantir el bon servei en la línia definida i el model es centra en l'anàlisi dels temps de pas a cada parada.

Sense l'existència d'una pertorbació no es produirien variacions en els temps ja que el model dimensiona la flota d'autobusos en funció de totes les variables, és per això que s'introdueix aquesta alteració en una parada concreta.

Un cop disposem de tota aquesta informació, el model calcula el temps de sortida $t_j^d(s-1)$ de l'autobús j a la parada $s-1$ a partir de la següent equació:

$$t_j^d(s-1) = t_j^a(s-1) + t_{oc} + \max[\gamma \cdot B_j(s-1); \delta \cdot A_j(s-1)] + \eta_{s-1} \cdot \theta \quad (1)$$

on $t_j^a(s-1)$ és el temps d'arribada a la parada $s-j$ del vehicle j , t_{oc} és el temps d'obertura i tancament de les portes, $\max[\gamma \cdot B_j(s-1); \delta \cdot A_j(s-1)]$ és el valor màxim entre el temps que tarden els passatgers a pujar o baixar del vehicle i $\eta_{s-1} \cdot \theta$ és el valor del *slack time* només en cas que la parada sigui $s=N$ o $s=2N$, en aquests casos η_{s-1} , i θ és el valor d'aquest *slack time* en cas que ens trobem dins de l'estratègia on s'utilitza.

El temps d'arribada a la parada s es defineix a partir de la següent equació:

$$t_j^a(s) = t_j^d(s-1) + \frac{L}{v_{j(s-1)}} + \sum_p t_p^r \quad (2)$$

on es pot apreciar que aquest depèn del temps de sortida a la parada anterior ($t_j^d(s-1)$) definit a l'equació (1), de la longitud del tram entre la velocitat específica en aquell moment, i del terme $\sum_p t_p^r$ que representa el temps invertit en les interseccions, determinat a les equacions (3), (4) i (5).

L'equació (3) determina el nombre de cicles del senyal semafòric de T_c segons que comença quan l'autobús j arriba a la intersecció p . A partir d'aquest valor es determina el temps de sortida a la intersecció p i els temps d'endarreriment total dels senyals amb les equacions (4) i (5).

$$n^* = \frac{t_p^a - t_{verd,p}}{T_c} \quad (3)$$

$$t_p^d = \begin{cases} t_p^a & \text{si } t_p^a < (T_c(n^*) + t_{verd,p} - \Delta t_{vermell}) \\ T_c(n^*) + t_{verd,p} & \text{en altres casos} \end{cases} \quad (4)$$

$$\sum_p t_p^r = \sum_p (t_p^d + t_p^a) \quad (5)$$

En el cas que $p=1$ es considerarà $t_{p-1}^d = t_j^d(s-1)$.

Per poder calcular l'equació (1) necessitem conèixer els passatgers que pugen i baixen en la parada $s-1$, de manera que haurem de definir $B_j(s-1)$ (pujada) i $A_j(s-1)$ (baixada). El paràmetre de pujada de passatgers depèn de l'interval de temps de pas entre autobusos consecutius, mentre que el de baixada només depèn del nombre de viatgers que hi ha en el vehicle abans de la parada.

$$B_j(s-1) = \left(t_j^a(s-1) - t_{j-1}^a(s-1) \right) \cdot \sum_{k>s-1} u_{k,s-1} + D_{j-1}(s-1) \quad (6)$$

amb $s = 2, \dots, N$ en direcció $A - B$

$$A_j(s-1) = \sum_{k=1}^{s-2} B_j(k) \cdot \frac{u_{k,s-1}}{b_k} \quad (7)$$

El primer terme de l'equació (6) depèn dels temps d'arribada dels autobusos j i $j-1$ a la parada $s-1$, que determina l'interval de pas del autobús, multiplicat pel valor de pujada del perfil de càrrega (figura 14). El segon terme de l'equació és la quantitat de gent que no ha pogut pujar a l'autobús precedent perquè es superava la capacitat i s'han d'esperar al següent i s'obté a partir de l'equació (9).

L'equació (7) es defineix a partir del nombre de passatgers que hi ha dins el bus per el valor de baixada del perfil de càrrega (figura 14).

El nombre de passatgers que esperen entre les parades $s-1$ i s s'evalua a partir de l'equació (8), tenint en compte que la capacitat màxima d'aquest és C . El nombre de passatgers que s'han d'esperar al següent autobús es determina a partir de l'equació (9).

$$M_j(s) = M_j(s-1) + B_j(s) - A_j(s) \leq C \quad \text{amb } s = 1, \dots, N \quad (8)$$

$$D_j(s) = M_j(s-1) + B_j(s) - A_j(s) - C \quad (9)$$

Per al control dels intervals entre vehicles en cada parada es defineix la variable Δt_j^d que s'actualitza a cada parada a partir dels temps de sortida dels vehicles j i, el que va per davant, $j-1$, tal com es mostra a l'equació (10).

$$\Delta t_j^d(s) = t_j^d(s) - t_{j-1}^d(s) \quad \text{amb } s = 1, \dots, 2N \quad (10)$$

A partir d'aquesta equació (10) es poden calcular les diferències entre l'interval de pas desitjat H i l'interval de pas actual en la parada (s) tant amb l'autobús que va davant $j-1$, com amb el que ve per darrera $j+1$, tot i que amb aquest la comparació es farà en l'última parada visitada pel vehicle $j+1$ (s^*) en aquest moment.

$$\varepsilon_{j-1,j}(s) = \Delta t_j^d(s) - H \quad (11)$$

$$\varepsilon_{j,j+1}(s^*) = H - \Delta t_{j+1}^d(s^*) \quad (12)$$

6. Estratègies de control de flota

Tal com s'ha comentat anteriorment, les línies d'autobús s'han gestionat, al llarg de la història, intuïtivament sense cap tipus de model de control, però a partir d'un cert moment es comencen a aplicar estudis científics específics per a la seva millora.

Fins que no s'ha disposat de mètodes per a la gestió en temps real, només es podia actuar en la sortida dels autobusos en funció de l'arribada a aquest punt. Degut a les tecnologies disponibles actualment es pot conèixer en temps real la posició de cada un dels autobusos i també fins i tot el seu grau d'ocupació. Amb aquest conjunt d'informacions es pot prendre una decisió d'actuació i comunicar-la al conductor mitjançant ràdio o missatges per GPRS al sistema de comandament de l'autobús.

Aquests avenços suposen que en funció de l'estratègia de control executada s'hauran d'incorporar més o menys noves tecnologies. Un punt important a tenir en compte també serà la major formació requerida pels conductors, juntament amb la manera de facilitar major informació als passatgers i que ho entenguin. Podria succeir que algun passatger esperant en una parada tingui un temps d'espera que s'incrementi degut a alguna de les estratègies, fet que acaba suposant incomoditat i malestar per al viatger que pot no entendre-ho.

A partir de totes les novetats tecnològiques de que es disposa a l'actualitat, les actuacions que es poden dur a terme per a la millora de l'eficiència de les línies d'autobusos s'anomenaran estratègies de control de flota. Aquestes estratègies actuaran sobre uns punts fixos, la velocitat dels vehicles o modificaran els semàfors del recorregut i s'exposen a continuació en més detall.

6.1. Punts de control fixos (S0)

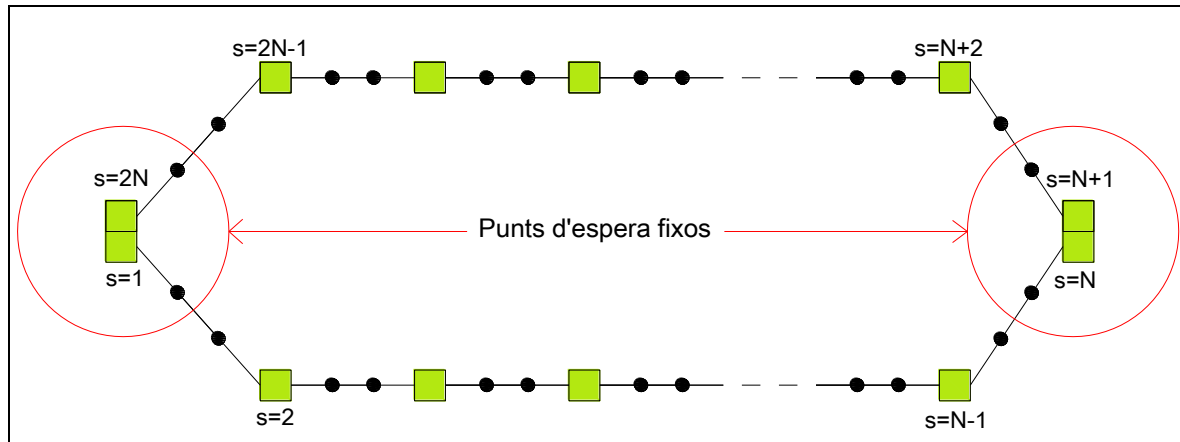
Una de les estratègies de control possibles és la d'establir punts de control fixos, en el cas estudiat un en cadascun dels extrems de la línia (un en el punt A i l'altre en B). També existeix l'opció de situar altres punts al llarg del recorregut que en alguns casos poden ser d'important utilitat.

Aquesta estratègia es basa en la regulació de les alteracions en els intervals de pas a partir d'uns temps de marge (*slack time*) en aquests punts fixos, de manera que si algun d'aquests autobusos circula endarrerit, a l'arribar a algun dels extrems disposa d'un temps addicional d'espera afegit al temps del cycle de manera que pugui escurçar-lo i sortir abans i així reduir aquest endarreriment i tornar a circular a temps.

Aquesta estratègia només intervé sobre els autobusos en els punts de control de manera que no corregeix alteracions que hi pot haver entre aquests punts, és per això que si les alteracions que es produeixen són considerables, aquestes tindran un efecte rellevant en tot el cycle i serà molt difícil redreçar la situació per tornar a l'estabilitat dels intervals de pas.

Per a poder definir aquesta estratègia s'ha comparat els intervals d'arribada dels autobusos a cadascun dels dos punts fixos de manera que si els intervals de pas variaven i l'autobús j arribava avançat o endarrerit respecte l'autobús $j-1$, l'autobús j gestionarà el seu *slack time* per ajustar-se a l'interval de pas amb el vehicle $j-1$.

Figura 10. Distribució de parades amb punts de control fixos



6.1.1. Modelització de l'estratègia de punts de control fixos (S0)

En l'estratègia S0 s'ha tingut en compte la contribució del *slack time* de manera que en els punts A i B la variable t_j^d pren els següents valors de l'equació (13) depenent si el vehicle es troba endarrerit o circula a temps. Tots els conductors han de complir un temps de descans mínim, de manera que serà un temps obligat, però poden treure avantatge del temps de marge (ST) determinat, podent sortir abans per reduir l'endarreriment, tal i com es mostra a l'equació (24).

$$t_j^d(s) = \begin{cases} t_j^a(s-1) + T_{L-O,R} & \text{si } [t_{j-1}^d(s) + h - t_j^a(s)] \leq T_{L-O,R} \\ t_j^a(s) + h & \text{en altres casos} \end{cases} \quad (13)$$

6.2. Control de velocitat dels autobusos (S1)

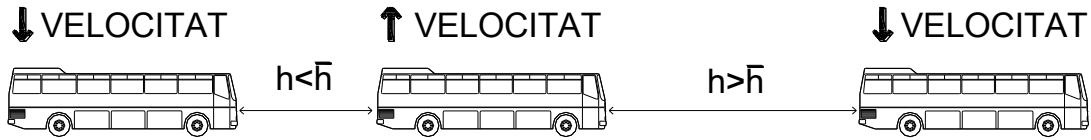
Una altra possible estratègia és la de controlar la velocitat dels autobusos a cada parada, de manera que cadascun d'aquests vehicles modifiqui la seva velocitat depenent de si va avançat o endarrerit respecte els autobusos precedent i posterior. Així que si l'autobús j circula endarrerit, la seva velocitat serà augmentada, sempre que aquest no circuli a la velocitat comercial màxima establerta, mentre que la dels autobusos precedent ($j-1$) i perseguidor ($j+1$) serà reduïda per així poder restablir l'equilibri en els intervals de pas el més ràpid possible.

En cadascuna de les parades cada vegada que arriba un autobús és realitza aquesta comprovació i les conseqüents modificacions en les velocitats de manera immediata.

En cas que fos al revés i l'autobús j circulés avançat, la velocitat seria disminuïda, i això pot semblar una inconvenient ja que llavors en el sistema es redueix la qualitat del servei. Tot i això, no és realment així perquè el que s'aconsegueix és mantenir la distribució equitativa d'interval de manera que es garanteixi al màxim la regularitat.

Una millora d'aquesta estratègia respecte l'anterior és que en cas de que es pateixi una alteració, aquesta es modificarà instantàniament, en canvi, a l'anterior només es regula als extrems de manera que si un vehicle s'endarrereix, trobarà més passatgers a cada parada i s'endarrerirà constantment.

Figura 11. Esquema del control de velocitat dels autobusos



On h representa l'interval real i \bar{h} representa l'interval teòric

6.2.1. Modelització de l'estratègia de control de velocitat (S1) i (S2)

Per a poder aplicar aquestes estratègies el model requereix que s'adaptin les velocitats instantànies dels autobusos que no circulen amb l'interval de pas desitjat. Considerant les variacions obtingudes amb les equacions (11) i (12) es defineix l'equació (14):

$$v_j(s) = \begin{cases} \frac{L}{L/v_c + f_a \cdot \varepsilon_{j,j+1}} & \text{si } \varepsilon_{j,j+1} > \varepsilon_{j-1,j} \quad \text{autobús endarrerit} \\ \frac{L}{L/v_{j-1}(s) + f_a \cdot \varepsilon_{j-1,j}} & \text{si } \varepsilon_{j,j+1} < \varepsilon_{j-1,j} \quad \text{autobús avançat} \end{cases} \quad (14)$$

On el paràmetre f_a s'ha definit anteriorment i la velocitat v_c és la velocitat comercial màxima i $v_{j-1}(s)$ és la velocitat del vehicle $j-1$ a la parada s .

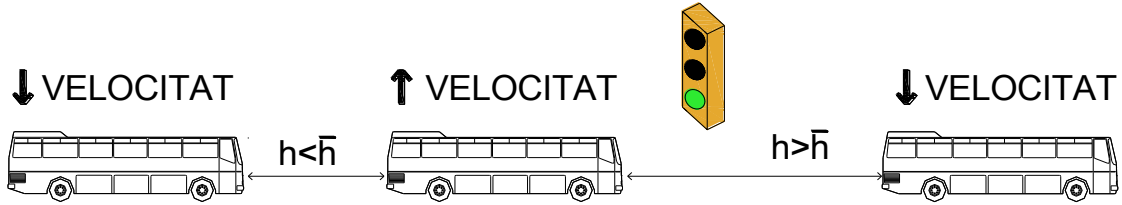
6.3. Control de velocitat dels autobusos i control semafòric (S2)

L'última estratègia és la combinació entre l'estratègia anterior i el control semafòric, amb el resultat que afegit al control de velocitat, es permet l'allargament del temps de verd en els cicles semafòrics, això s'aconsegueix afegint un determinat increment de temps de verd al semàfor per evitar que s'hagin d'aturar. En els casos analitzats posteriorment s'ha considerat en general un increment de 10 segons.

Aquest increment només es produeix en cas que l'autobús tingui la possibilitat de creuar aquesta intersecció, no es produirà si es calcula que aquest no passarà afegint l'increment.

La utilització d'aquesta estratègia suposa que la recuperació dels intervals és realitza més ràpidament i les alteracions no s'allarguen durant tantes parades com si només es realitza el control de velocitat de manera aïllada.

Figura 12. Esquema del control de velocitat dels autobusos i control semafòric



6.3.1. Modelització de l'estratègia de control semafòric (S2)

Amb la intenció d'introduir un control semafòric allargant el temps de verd perquè l'autobús determinat pugui creuar la intersecció sense aturar-se es defineixen les equacions (15) i (16) comparant els intervals entre els autobusos $j-1$, j i $j+1$.

$$t_{pert}(j, j+1) = \Delta t_{j+1}(s^*)_{sortida} - (h + \Delta t_g) \quad \text{comparació endarrera amb } j+1 \quad (15)$$

$$t_{pert}(j-1, j) = \Delta t_j(s)_{sortida} - (h + \Delta t_g) \quad \text{comparació endavant amb } j-1 \quad (16)$$

En cas que el resulti que el vehicle j circula avançat, es reduirà la seva velocitat amb la següent equació sense cap alteració en el cicle semafòric:

$$v_j(s) = \frac{L}{L/v_j(s) + f_a \cdot t_{pert}(j, j+1)} \quad (17)$$

En canvi, si resulta que el vehicle j circula endarrerit, aquest intentarà aprofitar la circulació a màxima velocitat comercial (equació (18)) afegit la modificació del cicle semafòric fins a la següent parada. A través de la modificació de l'equació (tpd) tal com mostra l'equació (23) podem tenir en compte aquesta alteració.

$$v_j(s) = v_{max} \quad (18)$$

$$t_p^d = \begin{cases} t_p^a & \text{si } \exists n^* \in \mathbb{N} \mid t_p^a < [(T_c) \cdot (n^*) + t_{verd,p} - (\Delta t_{vermell} - G)] \\ T_c(n^*) + t_{verd,p} & \text{en altres casos} \end{cases} \quad (19)$$

En l'equació (19) la variable G , expressada en unitats de temps, representa l'increment de temps de verd en cadascuna de les interseccions quan sigui necessari.

7. Aplicació de les estratègies a casos pràctics

Un cop analitzades les estratègies a utilitzar i la seva modelització, s'ha procedit a implementar-les en les eines de programació adequades. S'han programat els diferents models d'estratègia de control en llenguatge Visual Basic, amb les modificacions i els valors de les variables corresponents per a cadascuna de les estratègies en particular.

Els diferents programes s'han executat per realitzar les diferents simulacions en un processador Pentium Intel Core i5 amb 1 MB de memòria RAM. L'execució del programa per a un problema comú tarda aproximadament 30 segons fins a completar els quatre cicles dels autobusos, amb un total de 200 parades.

Figura 13. Imatge del programa implementat en Visual Basic

The image shows a Visual Basic application window with a grey background. It contains numerous input fields (text boxes) and two buttons. The inputs are organized into sections. Some values are highlighted in red. The fields are as follows:

- Interval (min): 5
- Nombre de parades màx.: 200
- Nombre de parades: 20
- longitud entre parades: 300
- Nombre d'interseccions: 76
- Temps de cicle (s): 100
- Temps en verd(s): 50
- Perturbación inicial (min): 4**
- Perturbación final(min): 0**
- Parada en la que es produeix la perturbació: 50**
- Vehicle que sofreix la perturbació: 6
- Velocitat comercial: 6
- Taxa arribada passatgers en sentit 1 de la línia (pax/h): 1400
- Taxa arribada passatgers en sentit 2 de la línia (pax/h): 1400
- Temps min lay-over en una capçalera(min): 3**
- Temps descans conveni en 1 capçalera(min): 3
- Factor d'ajust de l'interval ($0 \leq \alpha \leq 1$): **0.05**
- Temps unitari de pujada (s/pax): 3
- Temps unitari de baixada (s/Pax): 2
- Capacitat (pax): 75
- Es permet el salt de semàfors per recuperar temps? (1-Sí;0-No): 0
- Increment de temps en vermell per al pas de l'autobús (seg): 10

Buttons: "carregar dades" and "CALCULAR".

A partir d'aquest programa es detalla el procés realitzat per obtenir els resultats desitjats.

7.1. Generació de problemes

Partint dels diferents programes segons l'estratègia a avaluar, s'ha procedit a la generació i resolució d'una diversitat de casos per poder reflectir àmpliament totes les possibles situacions. Partint de les variables definides en l'apartat 5.1, s'han modificat les variables més influents en la regularitat per així incloure i estudiar gran quantitat de casos, en canvi, d'altres s'han mantingut fixades en tots els casos.

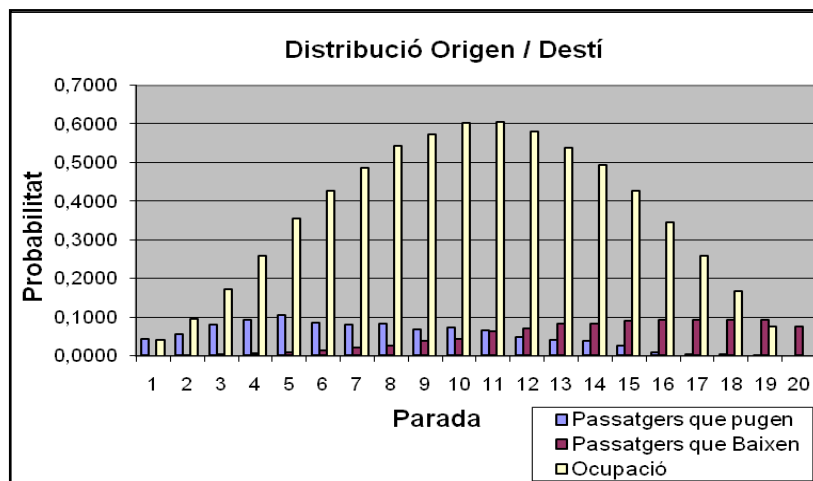
7.1.1. Valors de les variables fixades

Les variables que s'han mantingut fixos són:

- Nombre de parades: 40 parades entre anada i tornada
- Nombre de parades màxim: 200 parades per a realitzar els càlculs, ja que en total s'executen 5 cicles, quan se superen el programa s'atura
- Interval de pas entre vehicles consecutius: 300 segons
- Distància entre parades: 300 metres, aquesta és la que es correspon a la distància mitjana de línies d'autobusos en ciutat
- Nombre d'interseccions: 76, amb el que hi ha dues interseccions entre cadascuna de les parades
- Temps de cicle semafòric: 100 segons, dels quals el temps de verd és la meitat, 50 segons
- Vehicle que sofreix la pertorbació: el 6è vehicle del total de la flota requerida
- Taxes d'arribada de passatgers: 1400 pax/hora tant a l'anada com a la tornada
- Temps unitari de pujada (γ): 3 segons/pax
- Temps unitari de baixada (δ): 2 segons/pax
- Temps mínim de descans segons conveni en capçalera: 3 minuts
- Capacitat dels vehicles: 75 passatgers

Tal com s'ha comentat anteriorment, s'han definit dues taxes d'arribada a la parada, però no com es distribueixen. El perfil de càrrega emprat en el model és una distribució bastant uniforme, amb un màxim de càrregues a la parada número 5 i la distribució de descàrrega sobretot a la segona meitat del recorregut. La màxima ocupació es presenta a la meitat de la línia, arribant al 60%.

Figura 14. Perfil de càrrega segons la distribució Origen-Destinació de la distribució de viatges



A partir d'aquesta distribució de viatges, tenint en compte els temps de viatge, els temps de verd dels semàfors, el cicle del semàfor on ens trobem i per últim els temps de pujada i baixada dels passatgers s'obté el nombre d'autobusos necessaris per a garantir el bon servei en la línia definida i el model es centra en l'anàlisi dels temps de pas a cada parada.

7.1.2. Calibració del factor d'ajust d'interval (f_a)

Tal com s'ha comentat anteriorment, el valor del factor d'ajust d'interval produeix diferents resultats segons el seu valor per als mateixos valors de la resta de variables, per tant, un dels objectius a tractar abans de realitzar l'anàlisi en detall de diferents casos serà la calibració d'aquest valor per a obtenir resultats adequats.

7.1.3. Escenaris considerats

A part de les variables fixades comentades anteriorment, s'han anat modificant d'altres, com són el temps de pertorbació (min), la velocitat comercial (m/s), el factor d'ajust d'interval (f_a) i la parada en la qual es produeix la pertorbació, per a totes les estratègies, el temps de marge (*slack time*) (min) en l'estratègia S0 i l'increment de temps de verd (G) (segons) en l'estratègia S2.

Amb totes les variants d'aquestes variables s'han acabat estudiant un total de 126 escenaris, tot i que el total de simulacions realitzades és superior, amb l'objectiu de poder realitzar una comparativa adequada i representativa s'ha descartat la resta de simulacions.

A continuació es mostra una relació de totes les simulacions efectuades:

Taula 1. Relació de simulacions estudiades

Estratègia	fa	Slack time (min)	Temps Pertorbació (min)	Velocitat (m/s)	Parada amb pertorbació	Increment de temps de verd (seg)
S0	0,05	3	0	3 a 7	10	-
S0	0,05	4,5	0	3 a 7	10	-
S0	0,05	6	0	3 a 7	10	-
S0	0,05	3	3	3 a 7	10	-
S0	0,05	4,5	3	3 a 7	10	-
S0	0,05	6	3	3 a 7	10	-
S0	0,05	3	6	3 a 7	10	-
S0	0,05	4,5	6	3 a 7	10	-
S0	0,05	6	6	3 a 7	10	-
S1	0,05	-	0	3 a 7	10	-
S1	0,05	-	3	3 a 7	10	-
S1	0,05	-	6	3 a 7	10	-
S2	0,05	-	0	3 a 7	10	10
S2	0,05	-	3	3 a 7	10	10
S2	0,05	-	6	3 a 7	10	10
S0	0,05	4,5	4-6	6	3	-
S0	0,05	3 - 4,5 - 6	2	6	10	-
S0	0,05	3 - 4,5 - 6	4	6	10	-
S0	0,05	3 - 4,5	6	6	10	-
S0	0,01	3 - 4,5 - 6	6	6	10	-
S0	0,1	3 - 4,5 - 6	6	6	10	-
S0	0,05	4,5	4-6	6	17	-
S1	0,05	-	4 - 6	6	3	-
S1	0,05	-	2 - 4	6	10	-
S1	0,01	-	6	6	10	-
S1	0,1	-	6	6	10	-
S1	0,05	-	4 - 6	6	17	-
S2	0,05	-	4 - 6	6	3	10
S2	0,05	-	2 - 4 - 6	6	10	20
S2	0,05	-	2 - 4 - 6	6	10	100
S2	0,05	-	2 - 4	6	10	10
S2	0,01	-	6	6	10	10
S2	0,1	-	6	6	10	10
S2	0,05	-	4 - 6	6	17	10
S0 + S2	0,05	4,5	3 - 6	3 a 7	10	10

7.2. Indicadors de comparació

A continuació es procedirà a realitzar una descripció dels indicadors que s'han utilitzat per a les diferents estratègies per a poder realitzar una comparació adequada entre elles.

7.2.1. Prestacions als usuaris

Un d'aquests indicadors és el **coeficient de variació d'interval (C_{vh})** dels temps entre autobusos, i ens serveix per a mesurar la fiabilitat que té el sistema. Per a calcular-lo s'utilitza l'equació (20). Un fet remarcable és que totes les pertorbacions en el model es produeixen quan el primer autobús es troba en el segon cycle, per tant, el primer cycle s'utilitza per uniformitzar la línia d'autobusos i arrencar el sistema.

$$C_{vh} = \frac{S}{\bar{h}} \cdot \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N s_i^2(h)}}{\bar{h}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\sum_{i=1}^{m_i} s_i^2(h))}}{\bar{h}} \quad (20)$$

On m_i és el nombre d'interval·ls observats per una parada en particular, en la qual no es tenen en compte els interval·ls entre autobusos durant el primer cycle, S és la desviació estàndard, N és el nombre de parades considerades, h_i és l'interval determinat per a una parada en particular i \bar{h} és el valor de l'interval mitjà.

Kittelson & Associates (2003) van realitzar una classificació del *Nivell de Servei* (NDS) a partir dels diferents valors del C_{vh} , tal com es mostra a la Taula 2.

Taula 2. Nivell de Servei en funció del C_{vh}

LOS	C_{vh}	P ($h_i > 0.5 h$)	Comentaris
A	0.00-0.21	$\leq 1\%$	Servei ofert com un rellotge
B	0.22-0.30	$\leq 10\%$	Vehicles una mica demorats
C	0.31-0.39	$\leq 20\%$	Vehicles sovint demorats
D	0.40-0.52	$\leq 33\%$	Interval·ls de pas irregulars, amb alguns aparellats
E	0.53-0.74	$\leq 50\%$	Aparellats freqüents
F	≥ 0.75	$> 50\%$	La major part dels vehicles aparellats

NOTA: S'aplica a rutes amb interval·ls de pas de 10 minuts o menys.

Un NDS (Nivell de servei) "A" significa un funcionament molt puntual, amb uns interval·ls molt regulars. Al nivell "B" la majoria de vehicles es troben fora del programat per pocs minuts, però la probabilitat d'estar fora de l'interval de funcionament programat per més de la meitat del temps d'interval previst és encara baixa. El nivell "C" els vehicles sofreixen incompliments freqüents, amb uns quants interval·ls més grans o més petits que el que es pretén oferir. Els interval·ls entre vehicles al nivell "D" són bastant irregulars, amb més d'un de cada tres vehicles fora d'horari. L'aparellat d'autobusos és freqüent al nivell de servei "E", i el nivell de servei "F" comporta que la major part dels vehicles es troben aparellats.

La qualitat del servei reflecteix la percepció de les prestacions de la línia des del punt de vista dels passatgers.

Les comparacions realitzades s'han enfocat també des del punt de vista de costos. Per fer-ho s'han d'analitzar en dos parts, els **costos operacionals** i els **costos per a l'usuari**.

7.2.2. Costos operacionals

Els costos operacionals són els que ha de suportar l'operador i són la suma dels costos de la via, dels autobusos (estàtics, pel moviment i de personal), de les parades, dels sistemes de prioritat semafòrica i dels sistemes d'informació.

El que es tractarà en aquesta tesina són els costos ponderats dels autobusos segons uns determinats pesos, que es mostren a la següent taula, i no es farà referència a la resta dels costos operacionals.

Taula 3. Valors dels pesos dels temps dels autobusos

Valors dels pesos dels temps dels autobusos	
Costos per vehicle i km (C_d)	3,5 € / (veh·km)
Costos per vehicle i hora (C_t)	60 € / (veh·h)

A partir de les dades de sortida del programa de simulació s'obtenen els temps d'arribada de cadascun dels autobusos a les parades, i a partir del sumatori d'aquestes s'obté el temps total invertit pel total dels autobusos.

Un cop es disposa d'aquest temps totals i el nombre de vehicles necessaris ($N_{flot} = L_{tot} / h$) s'apliquen els coeficients dels econòmics per obtenir els costos totals tal i com es mostra a l'equació (21).

$$CO = [N_{flot} \cdot L_{tot} \cdot C_d + T_{total} \cdot C_t] \quad (21)$$

7.2.3. Costos per a l'usuari

Pel que fa als costos per a l'usuari, els passatgers perceben els temps de diferent manera segons en quina fracció de viatge es trobin: segons estiguin esperant en una parada, circulant amb el vehicle o aturats a la parada. És per això que el temps també haurà de ser ponderat en funció d'on es trobi el passatger. Per poder-les comparar posteriorment se li assignarà un valor al temps dels passatgers (VdT) de 15 €/h.

Taula 4. Valors dels pesos dels temps per a passatgers

Valors dels pesos dels temps dels passatgers	
Temps d'espera (φ)	2,2
Temps trajecte i parada (ω)	1

Un valor de 2,2, per exemple, indica que un minut d'una part del viatge en concret (per exemple el temps d'espera) és percebut pels passatgers com 2,2 vegades més molest que un minut dins el vehicle.

Interessa conèixer és el temps invertit pels passatgers, i això ho obtindrem multiplicant el temps destinat a cada operació pel nombre de passatgers que hi ha a cada una d'elles. Tenim tres operacions bàsiques, que són:

- Temps de trajecte per tots els passatgers:

$$TT = \sum_{i=1}^N t_t \quad (22)$$

- Temps en les parades per a tots els passatgers:

$$TS = \sum_{i=1}^N t_s \quad (23)$$

- Temps d'espera per a tots els passatgers:

$$TW = \sum_{i=1}^N t_w \quad (24)$$

A partir d'aquests temps, a partir de l'equació (25) es pot calcular el total del temps invertit pels usuaris considerant els valors de ponderació comentats amb anterioritat.

$$TP = \omega \cdot \sum_{i=1}^N t_t + \omega \cdot \sum_{i=1}^N t_s + \varphi \cdot \sum_{i=1}^N t_w \quad (25)$$

Per obtenir el valor econòmic del temps total invertit pels usuaris s'aplicarà l'equació (26). s'haurà de multiplicar pel valor del temps VdT de 15 €/h.

$$CU = TP \cdot VdT = \left[\omega \cdot \sum_{i=1}^N t_t + \omega \cdot \sum_{i=1}^N t_s + \varphi \cdot \sum_{i=1}^N t_w \right] \cdot VdT \quad (26)$$

7.3. Mètode de resolució

En cadascuna de les simulacions s'ha realitzat els càlculs per completar cinc cicles complets de funcionament dels autobusos, dels quals es consideren tots menys el primer. Aquest s'extreu per a evitar problemes d'escalfament i posada a punt del problema, degut a que encara no es troben tots els autobusos en circulació. A partir del segon cicle ja hi ha tots els autobusos en funcionament dins del sistema.

Partint de les dades obtingudes per part del programa en un fitxer de text, es procedeix a l'extracció i tractament estadístic a partir d'un full de càlcul d'Excel per a poder tractar-les.

Amb els resultats obtinguts s'han pogut calcular tots els indicadors de l'apartat anterior per a les comparacions desitjades, podent realitzar les agrupacions de les dades a comparar, a més, crear en cada cas les figures amb els resultats corresponents amb major facilitat.

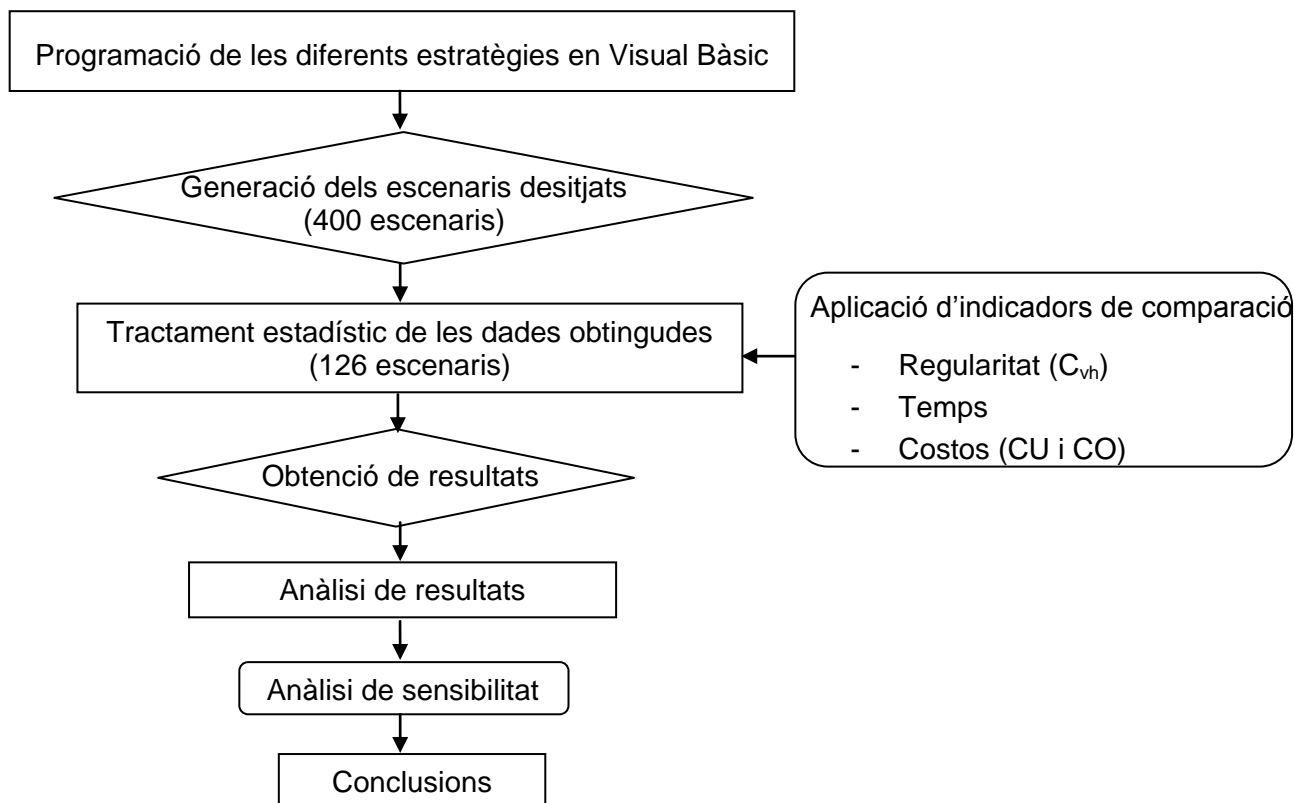
Per últim, a partir de tota la informació disponible es pot procedir a l'anàlisi de resultats per veure com es comporten les diferents estratègies.

Les fórmules emprades són les següents

- Utilització de fórmules cinemàtiques (1)-(12) dins del programa
- Incorporació de fórmules pròpies de cada estratègia (13)-(19)
- Incorporació de les equacions (20)-(26) com a indicadors o mètriques

Aquestes equacions s'actualitzen cada vegada que un vehicle arriba a una parada.

Figura 15. Esquema del mètode de resolució



7.4. Anàlisi de resultats

A partir de les dades obtingudes de les diferents simulacions es realitza una anàlisi dels resultats. Tal com s'ha comentat anteriorment l'estudi s'ha centrat en 126 simulacions per extreure els resultats.

Les simulacions descartades ho han estat per dos motius bàsicament, perquè no eren prou representatives i d'altres ja considerades ho eren més, o bé, perquè les pertorbacions eren excessivament elevades respecte l'interval de pas considerat i eren situacions on les alteracions produïdes eren incontrolables amb cap de les estratègies.

7.4.1. Filtratge de dades per a la seva anàlisi

Els resultats obtinguts i analitzats per a totes les simulacions es detallen a continuació:

- Matriu de temps al llarg de totes les parades de la línia i per a cada autobús, Matriu d'interval de pas entre autobusos al llarg de la línia i cada parell d'autobusos i Matriu de diferències entre els intervals de pas real i teòric per a cada parada i parell d'autobusos.

A continuació es mostren els esquemes de les matrius anteriors, obtingudes a partir de les simulacions.

En les matrius d'interval i de diferències d'interval cada columna representa la diferència de temps entre un autobús i el vehicle precedent.

Taula 5. Matriu de temps obtinguda per a les diferents simulacions

Matriu temps	1r ...	AUTOBUSOS	... j-èssim
1 ^a	:	:	:
:			
PARADES	TEMPS A CADA PARADA PER AUTOBÚS		
:			
M-èssima	:	:	:

Taula 6. Matriu d'interval de pas obtinguda per a les diferents simulacions

Matriu d'interval	1r-2n ...	PARELLS D'AUTOBUSOS	... j-1r
1 ^a	:	:	:
:			
PARADES	INTERVALS ENTRE PARELLS D'AUTOBUSOS A CADA PARADA		
:			
M-èssima	:	:	:

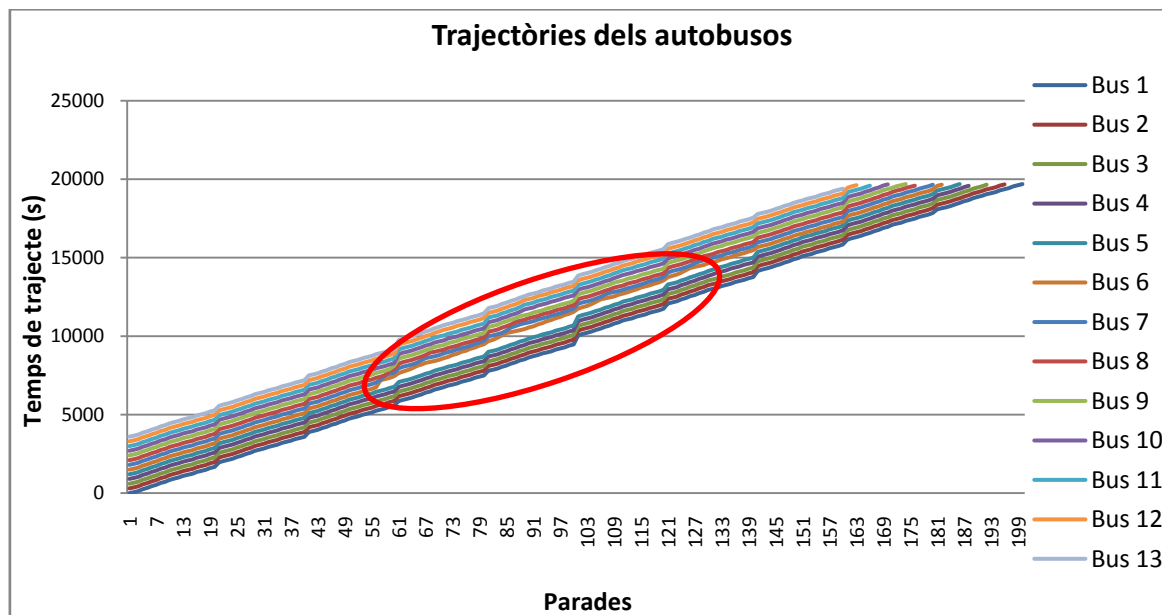
Taula 7. Matriu de diferències d'interval per a les diferents simulacions

Matriu diferències d'interval	1r-2n ...	PARELLS D'AUTOBUSOS	... j-1r
1 ^a	:	:	:
:			
PARADES	DIFERÈNCIES ENTRE INTERVALS TEÒRIC I REAL ENTRE PARELLS D'AUTOBUSOS A CADA PARADA		
:			
M-èssima	:	:	:

A l'Annex 2 es pot veure un exemple d'aquestes matrius.

- Per a cada simulació s'obté una figura de trajectòries dels autobusos tal com mostra la següent figura i es pot veure com es propaga la pertorbació al llarg de la línia.

Figura 16. Trajectòries dels autobusos



- Figures d'evolució dels intervals de temps al llarg de la línia entre cada parell d'autobusos. A continuació es mostra un exemple de les figures amb una pertorbació sobre l'autobús número 6:

Figura 17. Evolució d'interval de pas entre els parells d'autobusos 4-5 i 5-6

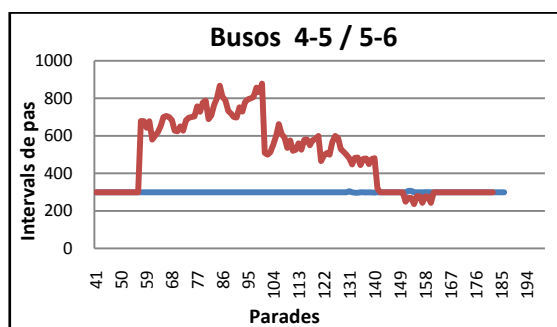


Figura 19. Evolució d'interval de pas entre els parells d'autobusos 6-7 i 7-8

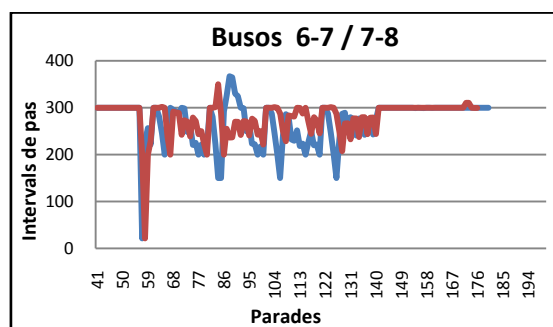
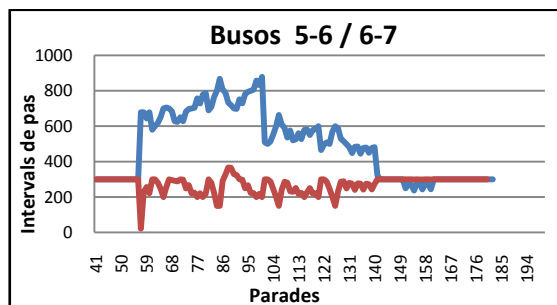


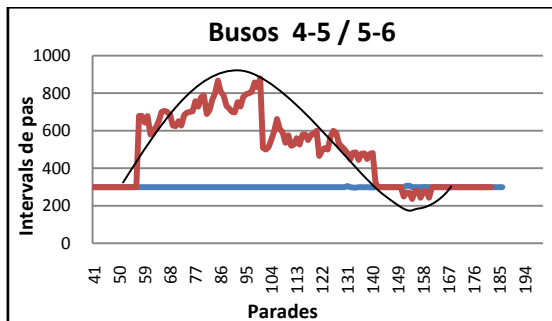
Figura 18. Evolució d'interval de pas entre els parells d'autobusos 5-6 i 6-7

**Llegenda**

- 1r parell busos
- 2n parell busos

A la figura 20 es pot apreciar com els endarreriments deguts a la pertorbació (línia vermella) s'ajusten a un comportament teòric sinusoidal oscil·latori esmorteït, representat per la línia negra.

Figura 20. Evolució d'interval de pas entre autobusos respecte comportament sinusoidal oscil·latori esmorteït



- Temps total trajectes
 - Temps total d'esperes
 - Temps total de parades
- } Temps viatge total
- Temps de cicle (T_c): temps que requereixen els autobusos per realitzar una trajecte d'anada i tornada
 - Desviació estàndard (S)
 - Coeficient de variació d'interval (C_{vh})
 - Nombre de vehicles de la flota necessaris per poder garantir el servei adequat ($N_{flot}=T_c/h$): aquest nombre s'obté a partir del quocient entre el temps de cicle i l'interval de pas dels vehicles. Normalment no s'obté un nombre sencer i aquest s'arrodonirà al número superior per poder garantir el correcte servei amb l'interval de pas fixat.

En l'Annex 2 es mostra en detall un exemple de totes les dades obtingudes per a un cas en concret.

7.4.2. Calibració del factor d'ajust d'interval (f_a)

Tal com s'ha explicat a l'apartat 5.1.15, aquest factor ajusta la velocitat de recuperació del sistema, com més pròxim a 1 el programa realitza modificacions més importants amb l'objectiu de tornar a l'equilibri el més aviat possible.

Considerant una pertorbació de 6 minuts s'han obtingut resultats per a les diferents estratègies i es sintetitzen a la taula 8.

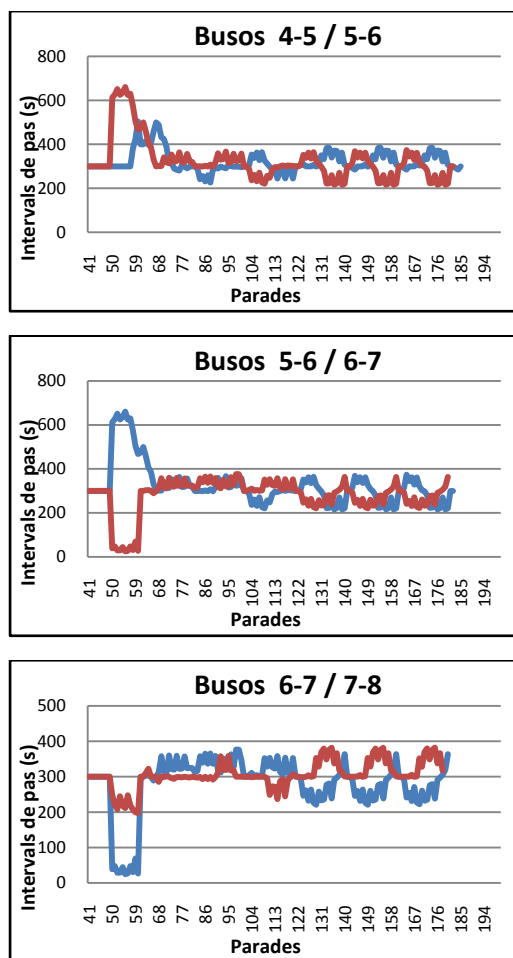
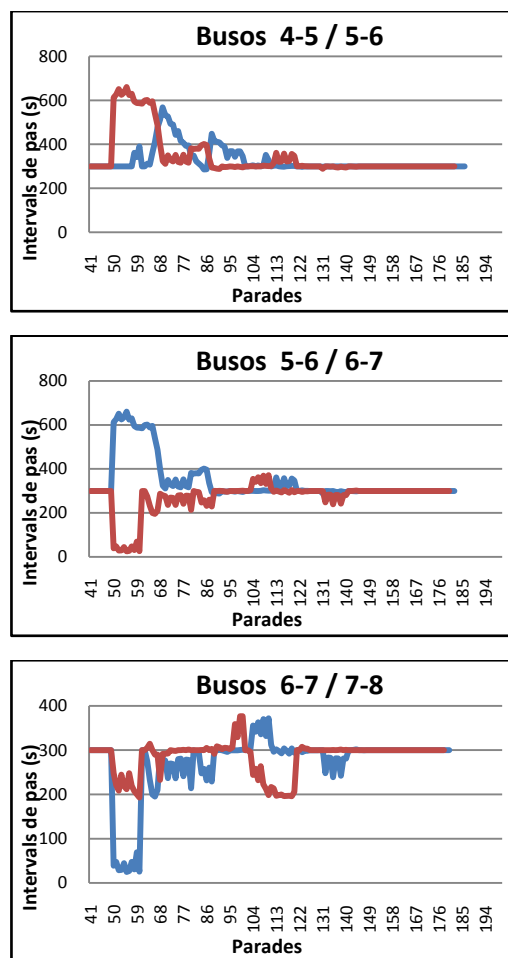
Taula 8. Valors segons diferents factors d'ajust d'interval per un temps de pertorbació 6 min.

Factor d'ajust d'interval (f_a)		0,01	0,05	0,1
Temps cicle (min)	S0	66,50	66,50	66,50
	S1	65,64	65,31	65,19
	S2	65,00	65,00	64,96
C_{vh}	S0	0,316	0,316	0,316
	S1	0,229	0,211	0,191
	S2	0,160	0,172	0,168
Temps total usuaris ponderat (h)	S0	3816,1	3816,1	3816,1
	S1	3409,8	3215,7	3207,0
	S2	3031,7	3052,6	2999,4

Aquesta taula reflecteix que aquest *factor d'ajust d'interval* no afecta a l'estratègia S0, ja que només regula els temps en funció de l'arribada del vehicle $j+1$ en un dels punts de control fixos per ajustar la sortida del vehicle j .

El que es pot veure és que en les altres dues estratègies, els valors més petits es donen per a un valor de $f_a=0,1$, excepte el coeficient de variació per a l'estratègia S2 que resulta ser el $f_a=0,01$.

A partir d'aquestes dades sembla que el millor *factor d'ajust d'interval* és el $f_a=0,1$, tot i això, s'analitza l'evolució dels intervals entre parells d'autobusos a partir de les figures següents.

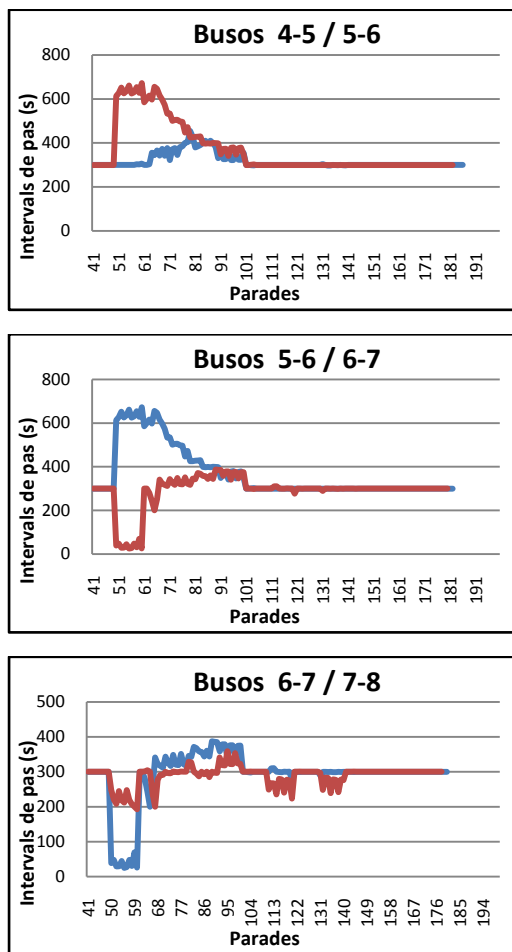
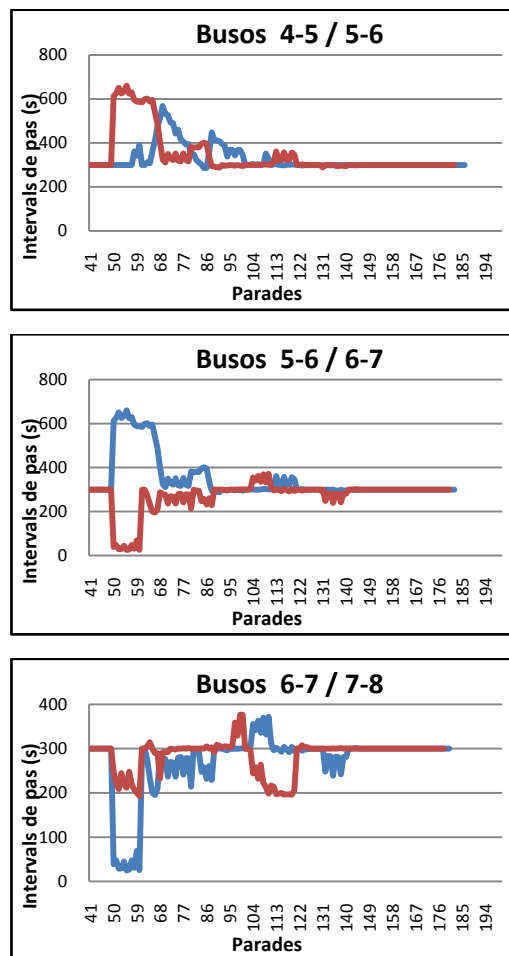
Figures 21,22 i 23. Estratègia S2 i $f_a=0,1$ Figures 24, 25 i 26. Estratègia S2 i $f_a=0,05$ **Llegenda**

- 1r parell busos
- 2n parell busos

Si es comparen els *factors d'ajust d'interval* 0,1 i 0,05; es pot veure que les figures 21, 22 i 23 que tenen un valor major de f_a , es redueixen més ràpidament les diferències en els intervals entre vehicles en les parades situades just després de la que pateix la pertorbació, però en les parades posteriors es produeix un efecte sinusoidal que fa que els autobusos mai estabilitzin els seus intervals de pas.

Pel que fa a les figures 24, 25 i 26 es pot veure que tot i tardar més en reduir l'efecte de la pertorbació, ho acaba fent del tot i s'ajusta a l'interval desitjat.

Partint de l'objectiu de mantenir la regularitat en la línia podem descartar la utilització d'un $f_a=0,1$ que no permetrà arribar a l'estabilització del sistema.

Figures 27,28 i 29. Estratègia S2 i $f_a = 0,01$ Figures 30,31 i 32. Estratègia S2 i $f_a = 0,05$ **Llegenda**

- 1r parell busos
- 2n parell busos

A continuació es comparen els *factors d'ajust d'interval* 0,01 i 0,05; es pot apreciar que en les figures 27, 28 i 29, que tenen un valor inferior de f_a , es redueixen més lentament els intervals entre vehicles en les parades situades just després de la que pateix la pertorbació, però en les parades posteriors s'estabilitzen en l'interval desitjat.

Pel que fa a les figures 30, 31 i 32 es pot veure que tot i tardar menys en reduir l'efecte de la pertorbació, en parades posteriors es produeixen petites fluctuacions. Tot i així, i degut a que els valors obtinguts en la taula 8 són millors per aquest f_a , **s'ha procedit a realitzar l'estudi amb el factor d'ajust $f_a=0,05$.**

7.4.3. Parada on es produeix la pertorbació

Un cop determinat el valor del factor d'ajust d'interval (f_a), s'ha analitzant el comportament de les estratègies quan la pertorbació es produeix en diferents parades al llarg de la línia. Les pertorbacions s'han efectuat en les parades del segon cicle, ja que el primer és el de posada en funcionament, al llarg del trajecte d'anada de la línia en les parades 3, 10 i 17, una al començament, una a la meitat i l'altra al final de línia.

Abans però cal recordar que el perfil de càrrega dels autobusos segueix aproximadament una distribució normal, on en les parades del mig de la línia trobem una ocupació que supera el 60% mentre que als extrems és menor.

Taula 9. Resultats segons parada per a Temps de Pertorbació 4 min

Nº parada pertorbació		3	10	17
Temps cicle (min)	S0	66,5	65,6	66,5
	S1	64,6	64,5	64,6
	S2	64,5	64,3	64,8
C_{vh}	S0	0,332	0,267	0,309
	S1	0,172	0,152	0,146
	S2	0,164	0,123	0,144
Temps total usuaris ponderat (min)	S0	3783,8	3434,7	3514,9
	S1	2840,1	2818,2	2895,5
	S2	2829,4	2810,7	2897,1

Quan la pertorbació que es produeix és de 4 minuts es pot apreciar que els *temps de cicle* menors es donen per a la parada 10.

El *coeficient de variació d'interval* (C_{vh}) és decreixent amb la variació d'estratègies de S0 a S2, però per a les parades de principi i final de línia el descens entre S1 i S2 és molt petit.

Un fet remarcable és que el *temps total dels usuaris ponderat* és decreixent a mida que passem de l'estratègia S0 fins a la S2 excepte per a la parada 17. En aquesta parada aquest temps és superior a l'anterior i no s'ajusta al comportament esperat perquè l'estratègia S2 és igual que la S1 afegint el control semafòric, per tant, aquest temps hauria de ser menor teòricament.

Per l'anterior no es realitzarà l'estudi en la parada 17 al final de la línia ja que quan es produeix la pertorbació en aquest punt, l'estratègia S2 no és efectiva.

Taula 10. Resultats segons parada per a Temps de Pertorbació 6 min

Nº parada pertorbació		3	10	17
Temps cicle (min)	S0	66,8	66,5	66,6
	S1	64,9	65,3	65,0
	S2	64,9	65,0	65,0
C_{vh}	S0	0,371	0,316	0,262
	S1	0,194	0,211	0,181
	S2	0,175	0,172	0,164
Temps total usuaris ponderat (min)	S0	4188,7	3816,1	3426,5
	S1	3013,6	3215,7	3042,9
	S2	3046,7	3052,6	3022,8

Quan la pertorbació que es produeix és de 6 minuts, es pot apreciar que els *temps de cicle* menors es donen per a la parada 3 menys en l'estratègia S0 que resulta ser en la parada 10. Tot i això, veiem que els temps de cicle són els mateixos per les estratègies S1 i S2 en les parades 3 i 17, mentre que en la parada 10 són diferents.

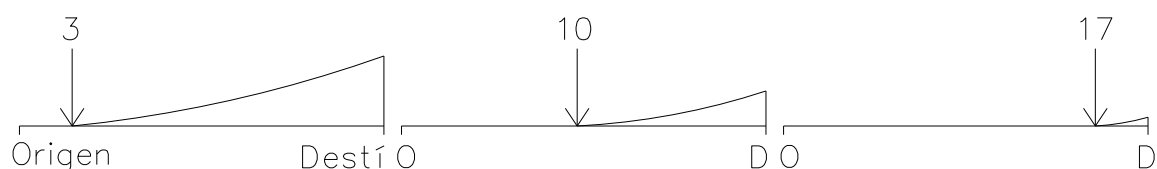
El *coeficient de variació d'interval* (C_{vh}) és decreixent amb la variació d'estratègies de S0 a S2, però per a les parades de principi i final de línia el descens entre S1 i S2 és molt menor que per a la parada 10.

Si ens fixem en el *temps total dels usuaris ponderat* podem veure que aquest és decreixent a mida que passem de l'estratègia S0 fins a la S2 excepte per a la parada 3. En aquesta parada aquest temps és superior a l'anterior i no s'ajusta al comportament esperat perquè l'estratègia S2 és igual que la S1 afegint el control semafòric, per tant, aquest temps també hauria de ser menor teòricament, igual que per al cas amb pertorbació de 4 minuts però per a les parades del principi de la línia.

Per l'anterior no es realitzarà l'estudi en la parada 3 al començament de línia ja que quan es produeix la pertorbació en aquest punt, l'estratègia S2 no és efectiva.

S'ha de tenir en compte també que els efectes d'una pertorbació al principi de la línia poden suposar uns increments d'interval de pas en parades posteriors molt elevats, mentre que si es produeix al final de línia, els efectes seran poc significatius. Això es pot apreciar a partir del decreixement del C_{vh} , i en la següent figura.

Figura 33. Esquema de propagació de la pertorbació al llarg de la línia segons parada



A partir de l'anterior s'ha determinat que **l'anàlisi més convenient és realitzar-lo en la parada 10**, situada a la meitat de la línia.

7.4.4. Velocitats comercials

Amb les variables anteriors determinades, en aquest apartat es realitzarà una comparació incorporant variacions en les velocitats comercials, així es podran comparar les diferents estratègies també segons aquesta velocitat.

Les simulacions realitzades consideren tres escenaris: el cas en que no es produeix cap pertorbació i els casos amb pertorbacions de 3 i 6 minuts.

Pel que fa a l'estratègia S0 s'ha calculat per tres *slack times* (ST) diferents de 3, 4.5 i 6 min.

Dins dels següents subapartats es presenten tres taules resums dels diferents resultats obtinguts per a les diferents simulacions, segons les pertorbacions escollides, per a realitzar les comparatives juntament amb les figures que mostren els resultats destacats.

7.4.4.1. Comparativa Nombre de vehicles necessaris – Temps de cicle – C_{vh}

Taula 11. Simulació sense pertorbació

		Estratègia control	Velocitat (m/s)				
			3	4	5	6	7
Nombre autobusos de la flota	ST 3 min	S0	19	16	14	13	12
	ST 4,5 min	S0	20	17	15	13	13
	ST 6 min	S0	20	17	15	14	13
		S1	19	16	14	13	12
		S2	19	16	14	13	12
Temps cicle (min)	ST 3 min	S0	94,1	79,2	69,3	64,0	59,1
	ST 4,5 min	S0	98,7	83,6	73,6	64,0	63,5
	ST 6 min	S0	98,7	83,6	73,6	68,6	63,5
		S1	94,1	79,2	69,3	64,0	59,1
		S2	94,1	79,2	69,3	64,0	59,1
C _{vh}	ST 3 min	S0	0	0	0	0	0
	ST 4,5 min	S0	0	0	0	0	0
	ST 6 min	S0	0	0	0	0	0
		S1	0	0	0	0	0
		S2	0	0	0	0	0

La taula 11 mostra que en el cas sense pertorbació l'única diferència entre les diverses estratègies es produeix per l'estratègia S0 quan s'incrementa ST, on el que succeeix és que tenim un major nombre de d'autobusos que a la resta d'estratègies. Per altra banda, els valors dels coeficients de variació d'interval per aquestes són aproximadament 0 en tots els casos.

Aquest cas seria l'ideal i les estratègies de control no influeixen en el resultat final, sempre i quan es dimensioni correctament la línia, és a dir, que la relació entre freqüències de pas i nombre de vehicles necessaris sigui l'adient.

Taula 12. Simulació amb pertorbació de 3 minuts

		Estratègia control	Velocitat (m/s)				
			3	4	5	6	7
Nombre autobusos de la flota	ST 3 min	S0	19	16	14	13	12
	ST 4,5 min	S0	20	17	15	13	13
	ST 6 min	S0	20	17	15	14	13
		S1	19	16	14	13	12
		S2	19	16	14	13	12
Temps cicle (min)	ST 3 min	S0	90,0	81,2	71,8	65,6	60,5
	ST 4,5 min	S0	96,0	83,9	73,9	65,6	63,9
	ST 6 min	S0	96,0	83,9	73,9	68,6	63,9
		S1	94,7	79,2	69,5	64,0	59,2
		S2	94,7	79,2	69,5	64,0	59,2
C _{vh}	ST 3 min	S0	0,326	0,261	0,298	0,249	0,220
	ST 4,5 min	S0	0,067	0,070	0,086	0,249	0,078
	ST 6 min	S0	0,067	0,070	0,086	0,071	0,078
		S1	0,079	0,072	0,139	0,079	0,074
		S2	0,079	0,072	0,138	0,079	0,074

Es pot apreciar a la taula 12 que per una pertorbació de 3 minuts no hi ha diferències en quant a nombre de vehicles necessaris, temps de cicle i coeficient de variació d'interval per a les estratègies S1 i S2, de manera que aquest cas no ens serveix per comparar-les, les dues funcionen igual, per tant serà més econòmica l'estratègia S1 sense control semafòric, només de velocitats.

Comparant l'estratègia S0 amb les altres dues en conjunt, es veu que pel que fa al nombre de vehicles necessaris en el cas de ST de 3 minuts són els mateixos, però això suposa que tots els temps de cicle i els coeficients de variació d'interval són superiors en aquest cas excepte per a velocitat comercial de 3 m/s, on aquesta estratègia té un valor inferior.

Pel que fa als altres ST, es requereix un autobús més per a l'estratègia S0 respecte les altres, fet que comporta que per aquesta estratègia els temps de cicle són majors però els coeficients de variació d'interval són inferiors.

S'ha de destacar l'estratègia amb un ST de 4,5 minuts amb velocitat comercial de 6 m/s on apareix un valor molt elevat tant de temps de cicle com de C_{vh} degut a que és necessari el mateix nombre d'autobusos per aquest cas mentre que per les altres velocitats amb la mateixa estratègia se'n necessita un més.

S'ha de tenir en compte que el més interessant són les velocitats comercials el més altes possibles, per això, la part més important serà entre velocitats de 5 a 7 m/s, i ja es pot apreciar que els millors resultats els donen les estratègies S1 i S2.

Figura 34. Comparativa entre nombre d'autobusos necessaris i el temps de cycle per a una perturbació de 3 minuts i un ST de 4,5 minuts per a l'estratègia S0.

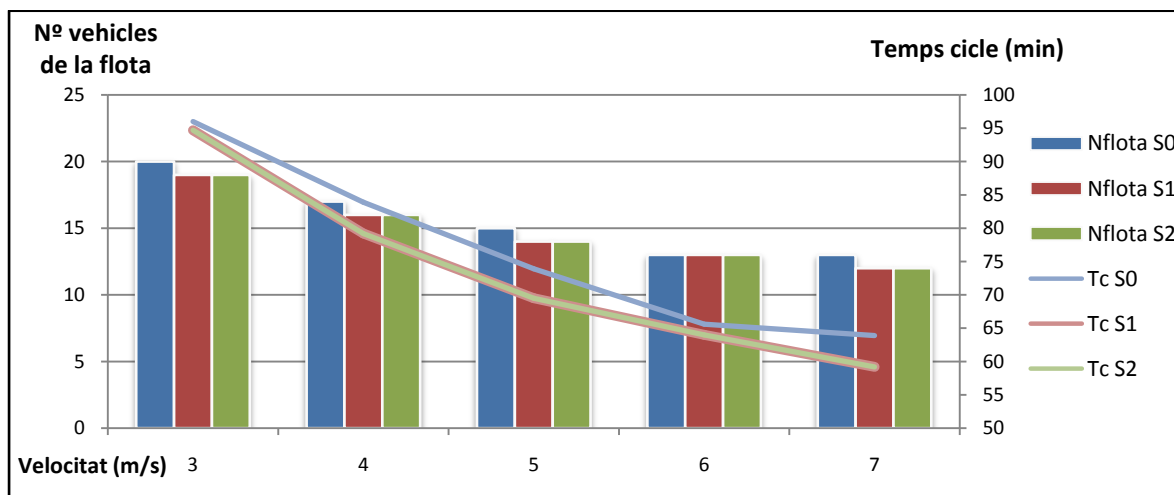
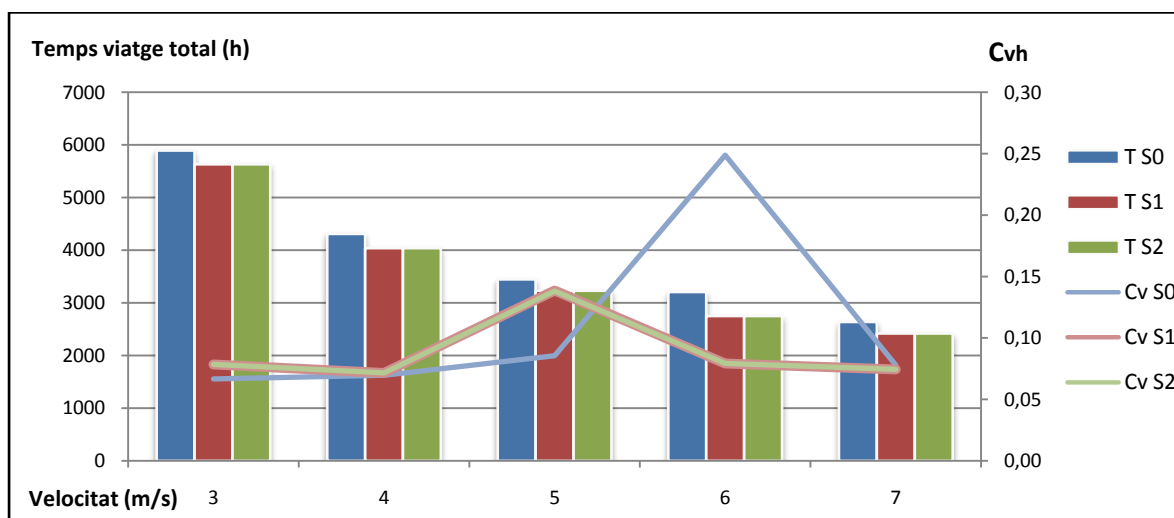


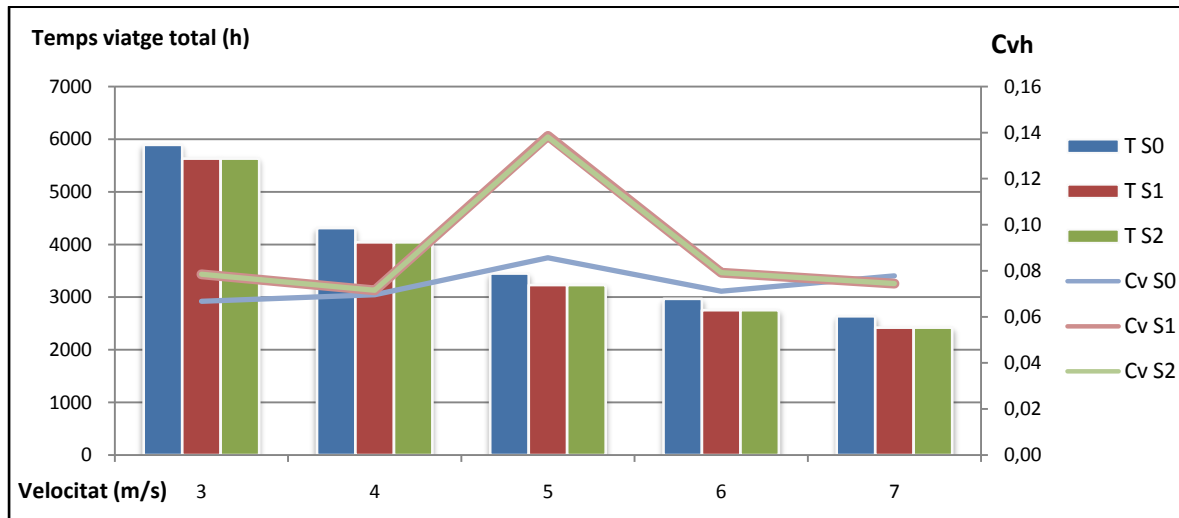
Figura 35. Comparativa entre el temps de viatge total i el coeficient de variació d'interval per a una perturbació de 3 minuts i un ST de 4,5 minuts per a l'estratègia S0.



A les figures 34 i 35 es pot apreciar que els temps de cycle per a l'estratègia S0 són majors que per a les altres, tot i que per a les velocitats de 3 i 6 m/s la diferència entre els temps és inferior. La proximitat per a la velocitat comercial de 6 m/s es deu a que hi ha el mateix nombre d'autobusos per ambdues estratègies, en canvi, en els altres casos hi ha un nombre d'autobusos superior.

Pel que fa al coeficient de variació d'interval, es pot apreciar que és inferior o igual en tots els casos excepte per a la velocitat de 6 m/s, degut al comentat anteriorment que requereix el mateix nombre d'autobusos que les altres estratègies i no superior. Aquest fet penalitza aquest coeficient.

Figura 36. Comparativa entre el temps de viatge total i el coeficient de variació d'interval per a una pertorbació de 3 minuts i un ST de 6 minuts per a l'estratègia S0.



A la figura 36 podem veure que el C_{vh} és millor per a l'estratègia S0, però a velocitats elevades el temps per a aquesta estratègia passa a ser superior. Tot i això el coeficient de variació és millor o igual al de les estratègies S1 i S2 en tots els casos.

En el coeficient de variació per a les estratègies S1 i S2 a velocitat 5 m/s apareix un pic que mostra que en aquest cas, respecte als altres la simulacions, la fiabilitat és pitjor. Si es fes servir alguna d'aquestes estratègies, s'hauria d'intentar no fer-ho per a aquesta velocitat comercial.

Taula 13. Simulació amb perturbació de 6 minuts

		Estratègia control	Velocitat (m/s)				
			3	4	5	6	7
Nombre autobusos de la flota	ST 3 min	S0	19	16	14	13	12
	ST 4,5 min	S0	20	17	15	13	13
	ST 6 min	S0	20	17	15	14	13
		S1	19	16	14	13	12
		S2	19	16	14	13	12
Temps cicle (min)	ST 3 min	S0	90,7	82,4	72,5	66,5	62,4
	ST 4,5 min	S0	99,7	84,6	74,6	66,5	64,5
	ST 6 min	S0	99,7	84,6	74,6	69,3	64,5
		S1	96,5	80,6	70,5	65,3	60,5
		S2	95,4	80,2	70,5	65,2	60,2
C _{vh}	ST 3 min	S0	0,377	0,343	0,357	0,316	0,382
	ST 4,5 min	S0	0,198	0,197	0,206	0,316	0,222
	ST 6 min	S0	0,198	0,197	0,206	0,187	0,224
		S1	0,177	0,185	0,195	0,211	0,233
		S2	0,123	0,148	0,178	0,190	0,165

Per al cas de perturbació de 6 minuts l'estratègia S0 requereix temps de cicle superiors per als ST de 4,5 i 6 minuts, això es deu a que el nombre d'autobusos necessaris és major en aquests casos.

En aquest cas es pot realitzar la comparació entre les estratègies S1 i S2 que resulten requerir del mateix nombre d'autobusos però tant els temps de cicle com el coeficient de variació són menors per a l'estratègia S2.

Si es comparen les estratègies S0, es veu, pel que fa al nombre de vehicles necessaris, en el cas de ST de 3 minuts és necessari un vehicle menys per a totes les velocitats, i acaben donant uns temps de cicle i coeficients de variació molt més grans.

A continuació es realitzarà una anàlisi més detallada.

Figura 37. Comparativa entre nombre d'autobusos necessaris i el temps de cicle per a una perturbació de 6 minuts i un ST de 3 minuts per a l'estratègia S0.

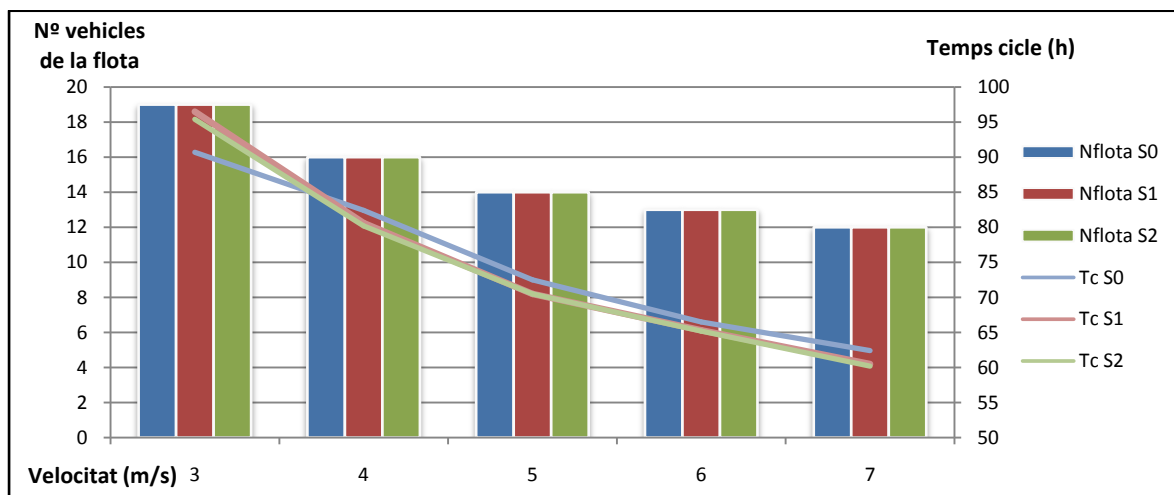
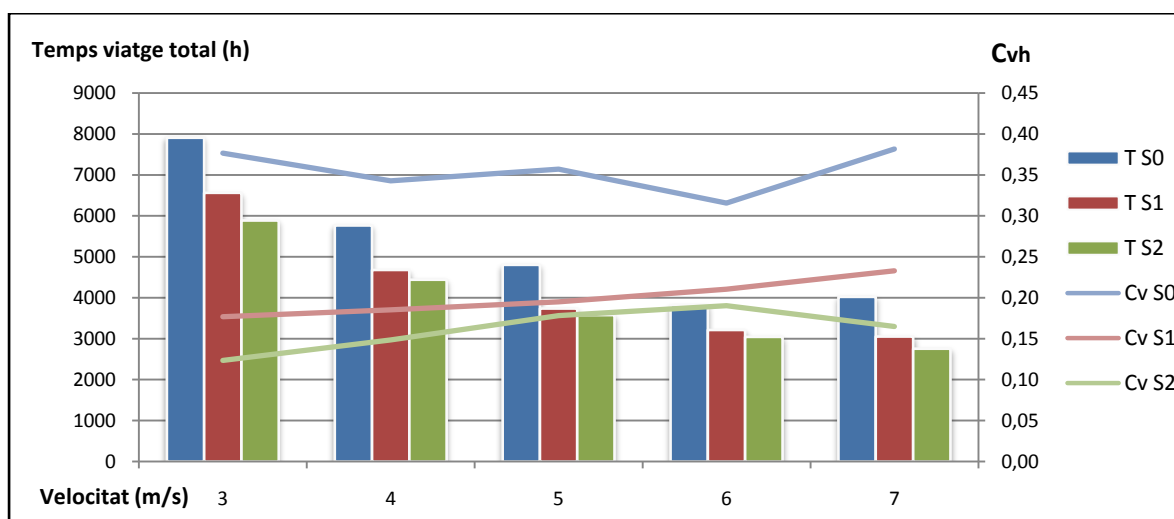


Figura 38. Comparativa entre el temps viatge total i el coeficient de variació d'interval per a una perturbació de 6 minuts i un ST de 3 minuts per a l'estratègia S0.



En aquest cas, tal com mostren les figures 37 i 38, la simulació acaba necessitant el mateix nombre d'autobusos, però les diferències entre les estratègies S0 i les S1 i S2 són molt considerables per a totes les velocitats.

Es pot veure que els temps de cicle són superiors per a totes les velocitats amb l'estratègia S0, excepte per a la velocitat inferior, on aquesta estratègia seria més efectiva. En quant al coeficient de variació, aquest és molt superior per a totes les velocitats per a aquesta estratègia respecte les altres.

Si ens fixem en les estratègies S1 i S2 podem veure que els temps de cicle són molt similars, però tant el temps de viatge total com el C_{vh} són inferiors per a totes les velocitats per a l'estratègia S2.

Figura 39. Comparativa entre nombre d'autobusos necessaris i el temps de cicle per a una perturbació de 6 minuts i un ST de 4,5 minuts per a l'estratègia S0.

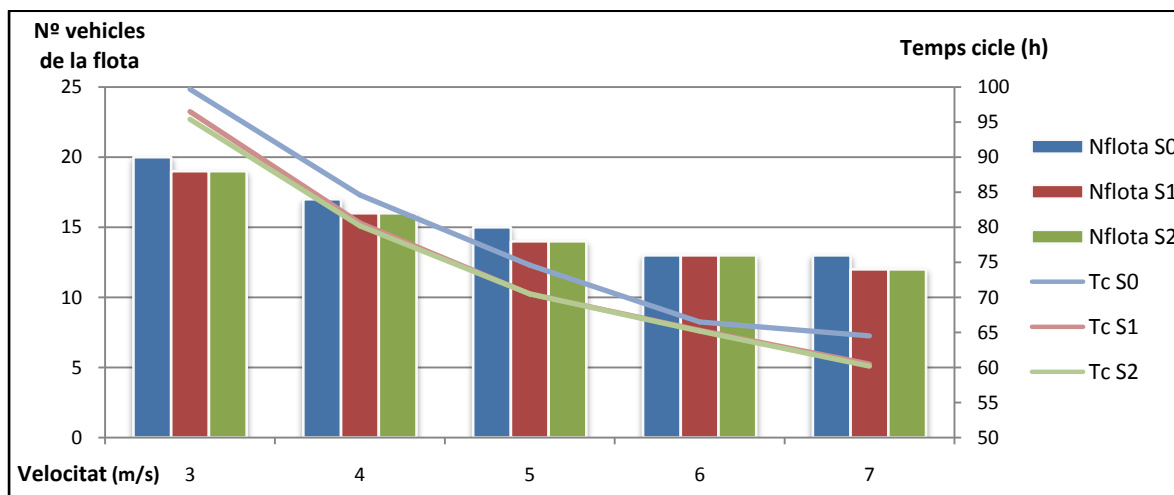
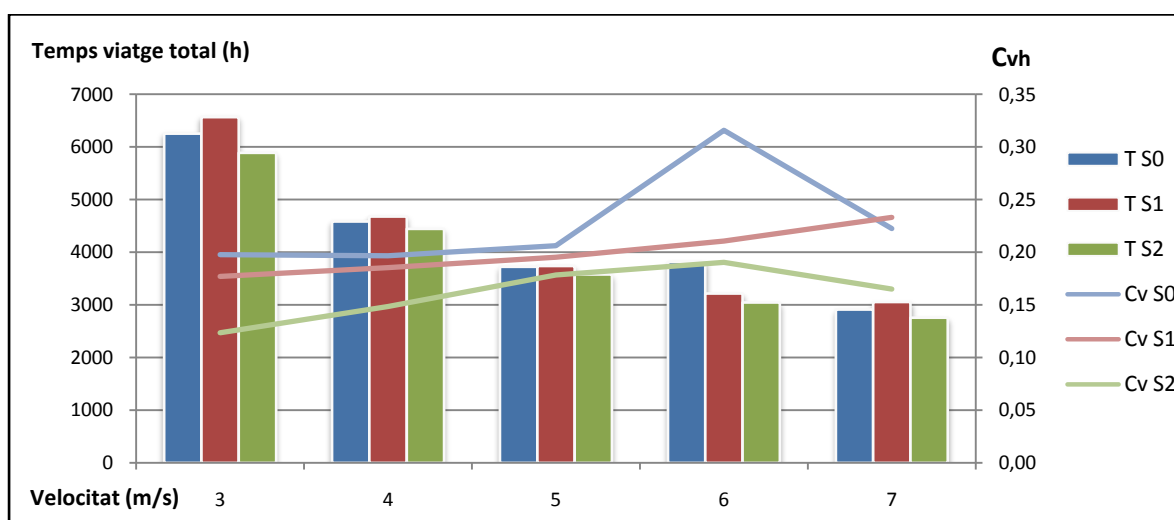


Figura 40. Comparativa entre el temps de viatge total i el coeficient de variació d'interval per a una perturbació de 6 minuts i un ST de 4,5 minuts per a l'estratègia S0.



S'ha de destacar, igual que en la simulació anterior, que a l'estratègia S0 amb velocitat comercial de 6 m/s apareix un valor molt elevat tant en temps de cicle com en C_{vh} respecte els altres. Això es deu a que és necessari el mateix nombre d'autobusos per a aquesta velocitat mentre que per les altres velocitats amb la mateixa estratègia se'n necessita un més.

El fet de necessitar un vehicle més per a l'estratègia S0 per a les altres velocitats fa que els temps de cicle siguin bastant majors que les estratègies S1 i S2 per a totes les velocitats menys els 6 m/s, on són més propers.

Pel que fa als temps de viatge total, podem veure que l'estratègia S1 té els temps majors, mentre que amb la S2 s'obtenen els millors resultats.

El C_{vh} és menor per a l'estratègia S2 i els pitjors resultats són per a l'estratègia S0, tenint un pic en la velocitat de 6 m/s degut al mateix que s'ha comentat per la figura 35.

Figura 41. Comparativa entre nombre d'autobusos necessaris i el temps de cicle per a una perturbació de 6 minuts i un ST de 6 minuts per a l'estratègia S0.

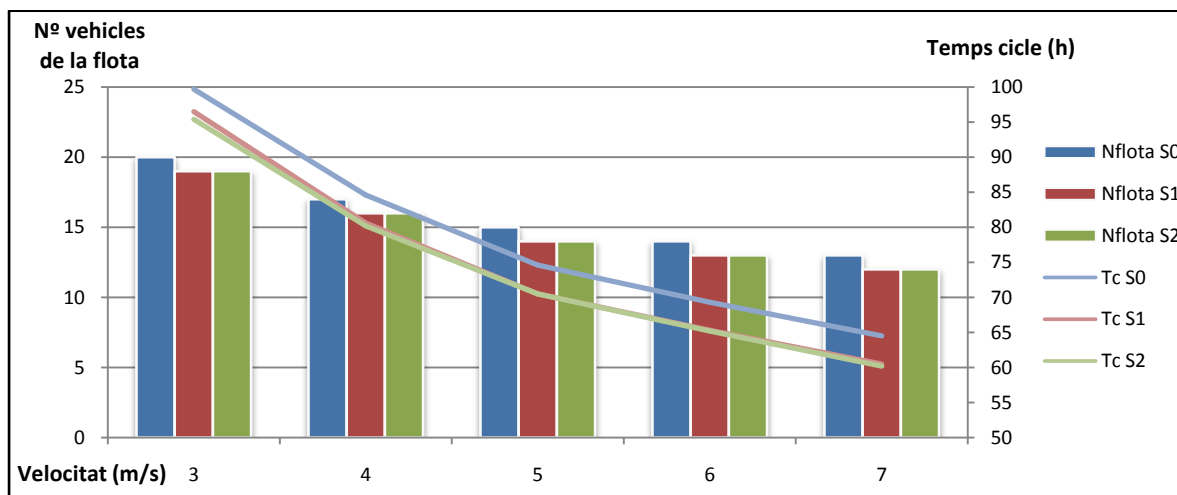
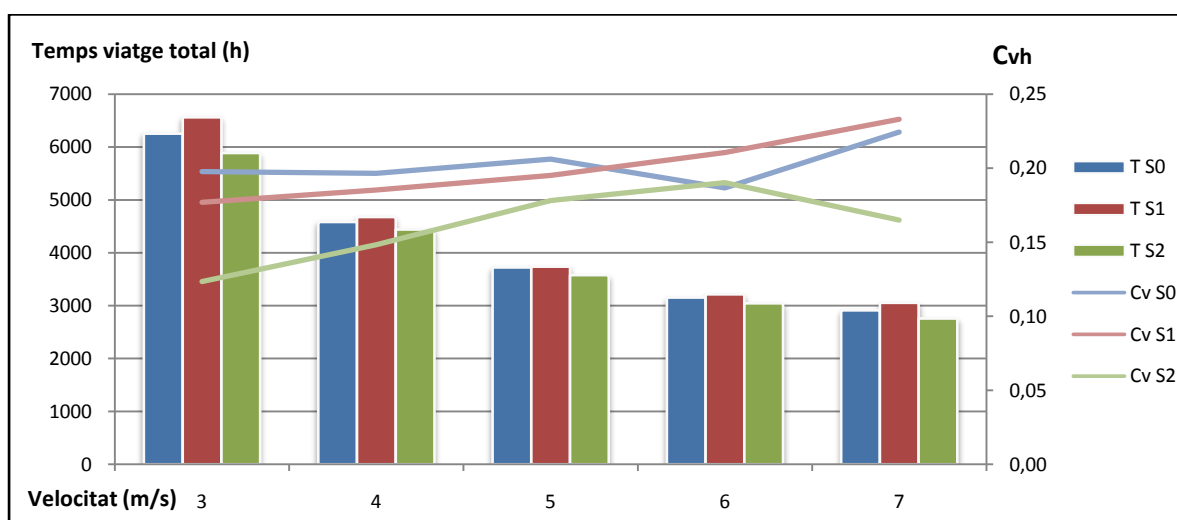


Figura 42. Comparativa entre el temps de viatge total i el coeficient de variació d'interval per a una perturbació de 6 minuts i un ST de 6 minuts per a l'estratègia S0.



Observant les figures precedents veiem que es requereix un autobús més per l'estratègia S0 amb un ST de 6 minuts, amb el que obtenim els pitjors temps de cicle i un coeficient de variació una mica superior a la gran part d'aquests valors per a les altres estratègies, però s'hauran de valorar en apartats posteriors.

Comparant les estratègies S1 i S2, es pot apreciar que les diferències no són molt significatives per al C_{vh} no són molt destacables, excepte per la velocitat de 7 m/s i 3 m/s.

En quant a temps de viatge total l'estratègia S0 és millor que la S1 amb el requeriment d'un vehicle més per a totes les velocitats. La S2 obté temps inferiors a les altres amb el mateix nombre d'autobusos que l'estratègia S1.

7.4.4.2. Costos de la línia d'autobusos

Tal com s'explica en l'apartat 7.2.2 i 7.2.3 es realitzen les valoracions econòmiques. A partir de l'equació (26) s'obtenen els costos per als usuaris, i a partir de l'equació (21) els costos per a l'operador.

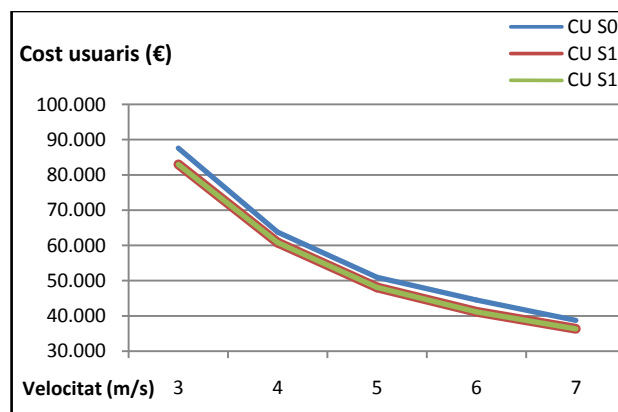
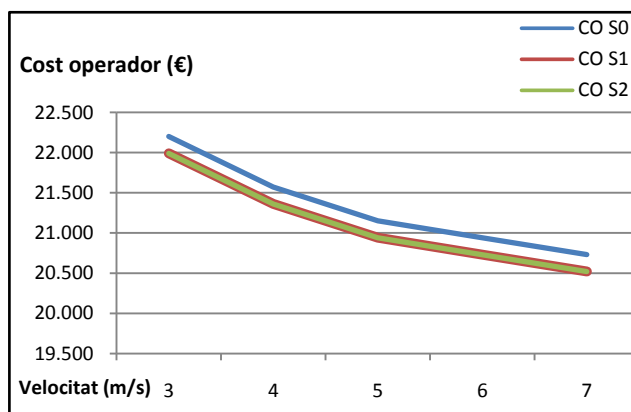
Els costos són en total per tota la flota i per tots els usuaris estimats en euros.

Aquests valors es mostren en les taules 14, 15 i 16, per a totes les simulacions analitzades en el subapartat 7.4.4.1.

Taula 14. Costos per a la simulació sense perturbació

		Estratègia control	Velocitat (m/s)				
			3	4	5	6	7
Costos usuaris (€)	ST 3 min	S0	82972	60809	48082	41170	36368
	ST 4,5 min	S0	87555	63737	50951	41174	38740
	ST 6 min	S0	87584	63743	50956	44527	38735
		S1	82972	60809	48082	41170	36368
		S2	82972	60809	48082	41170	36368
Costos operador (€)	ST 3 min	S0	21990	21360	20940	20730	20520
	ST 4,5 min	S0	22200	21570	21150	20730	20730
	ST 6 min	S0	22200	21570	21150	20940	20730
		S1	21990	21360	20940	20730	20520
		S2	21990	21360	20940	20730	20520

Figura 43 i Figura 44. Costos per a operadors i usuaris per a la simulació sense perturbació minuts i ST per a l'estratègia S0 de 4,5 i 6 minuts.



Com mostren la taula 14 i les figures 43 i 44, quan no hi ha perturbació els costos són els mateixos per a totes les estratègies menys per a les estratègies S0 amb ST de 4,5 o 6 minuts perquè tal com s'ha vist anteriorment, aquestes requereixen d'un vehicle més. Aquest vehicle extra suposa un augment per a l'operador en nombre de vehicles i conductors, mentre que per a l'usuari suposa majors temps d'espera en les capceleres.

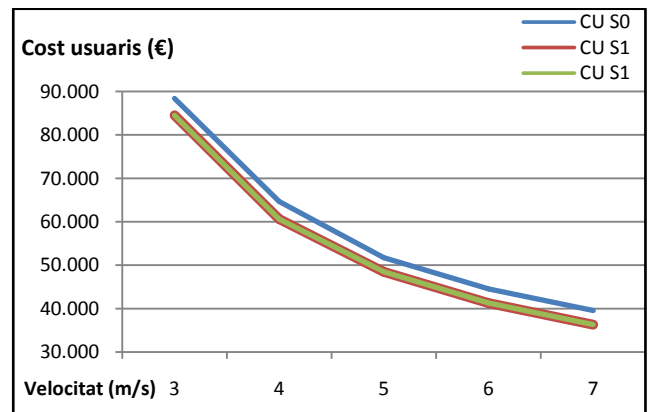
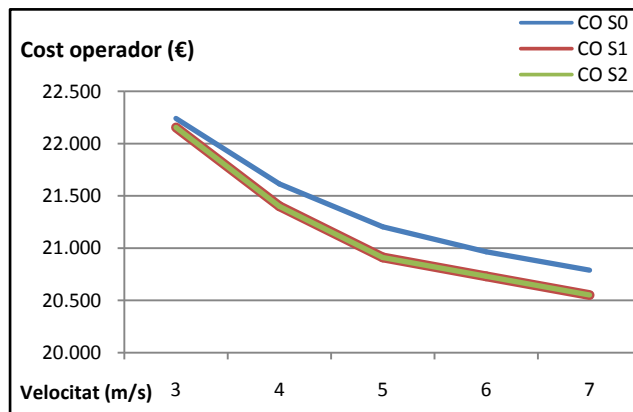
A les figures es pot veure com els costos tant per l'operador com pels usuaris són els mateixos per les estratègies S1 i S2 de manera que es superposen les línies.

S'ha de destacar que els costos són decreixents amb l'augment de velocitat, per tant, per molt regular que sigui un sistema amb una estratègia a baixa velocitat, suposarà majors costos.

Taula 15. Costos per a la simulació amb pertorbació de 3 minuts

		Estratègia control	Velocitat (m/s)				
			3	4	5	6	7
Costos usuaris (€)	ST 3 min	S0	106130	71287	61502	48104	43002
	ST 4,5 min	S0	88402	64672	51730	48107	39578
	ST 6 min	S0	88410	64673	51731	44529	39577
		S1	84508	60624	48471	41284	36308
		S2	84508	60624	48464	41284	36308
Costos operador (€)	ST 3 min	S0	23080	22222	21955	21329	21091
	ST 4,5 min	S0	22240	21615	21204	21329	20790
	ST 6 min	S0	22240	21615	21205	20965	20790
		S1	22155	21401	20911	20731	20552
		S2	22155	21401	20910	20731	20552

Figura 45 i Figura 46. Costos per a operadors i usuaris per a la simulació amb pertorbació de 3 minuts i ST per a l'estratègia S0 de 6 minuts.



Tal com passava en l'apartat 7.4.4.1, les estratègies S1 i S2 tenen els mateixos valors i per tant no seran comparables, però si ho seran respecte les S0.

Veiem que en tots els possibles casos dels diferents ST per a l'estratègia S0, els dos costos són majors, i mantenen una equidistància més o menys constant respecte a les altres dues estratègies.

Taula 16. Costos per a la simulació amb pertorbació de 6 minuts

		Estratègia control	Velocitat (m/s)				
			3	4	5	6	7
Costos usuaris (€)	ST 3 min	S0	118663	86506	72089	57238	60364
	ST 4,5 min	S0	93811	68776	55857	57242	43669
	ST 6 min	S0	93823	68778	55860	47337	43675
		S1	98478	70192	56108	48235	45820
		S2	88351	66651	53673	45687	41377
Costos operador (€)	ST 3 min	S0	23245	22482	22188	21594	21978
	ST 4,5 min	S0	22459	21827	21449	21594	21078
	ST 6 min	S0	22459	21828	21449	21170	21078
		S1	22497	21809	21557	21193	21116
		S2	22310	21704	21241	21043	20969

Figura 47 i Figura 48. Costos per a operadors i usuaris per a la simulació amb pertorbació de 6 minuts i ST per a l'estratègia S0 de 3 minuts.

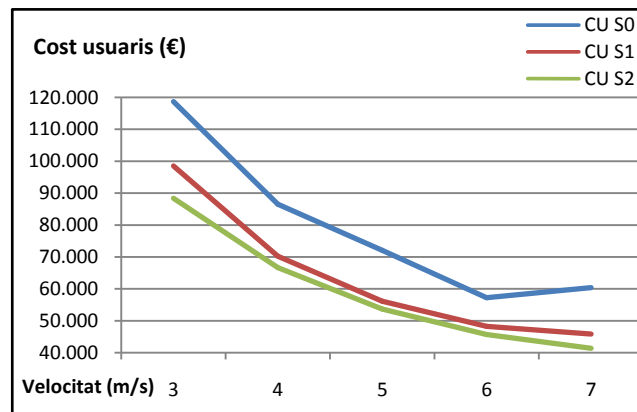
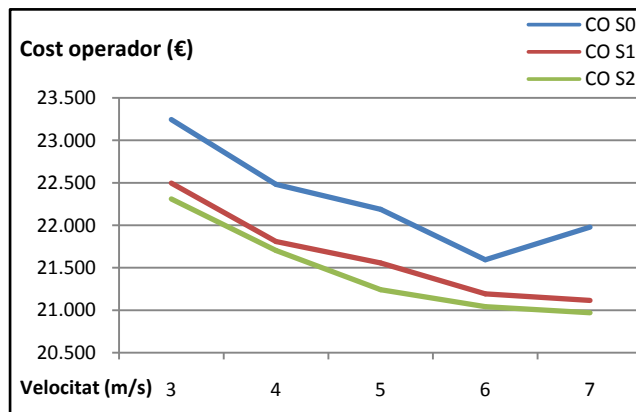


Figura 49 i Figura 50. Costos per a operadors i usuaris per a la simulació amb pertorbació de 6 minuts i ST per a l'estratègia S0 de 4,5 minuts.

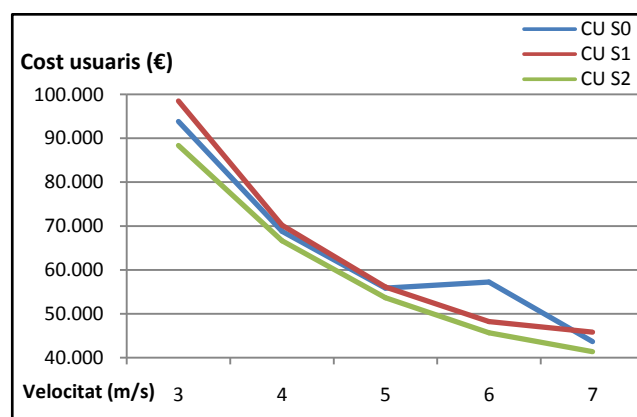
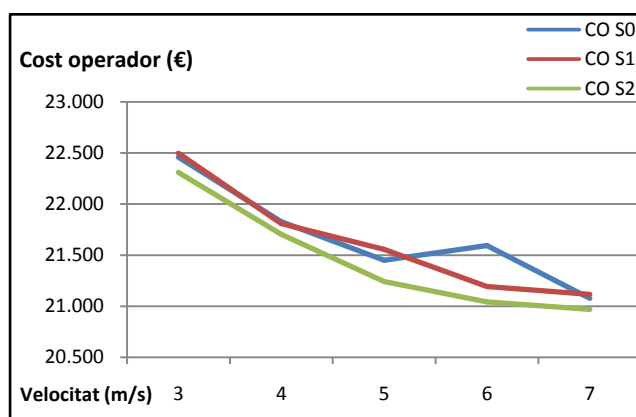
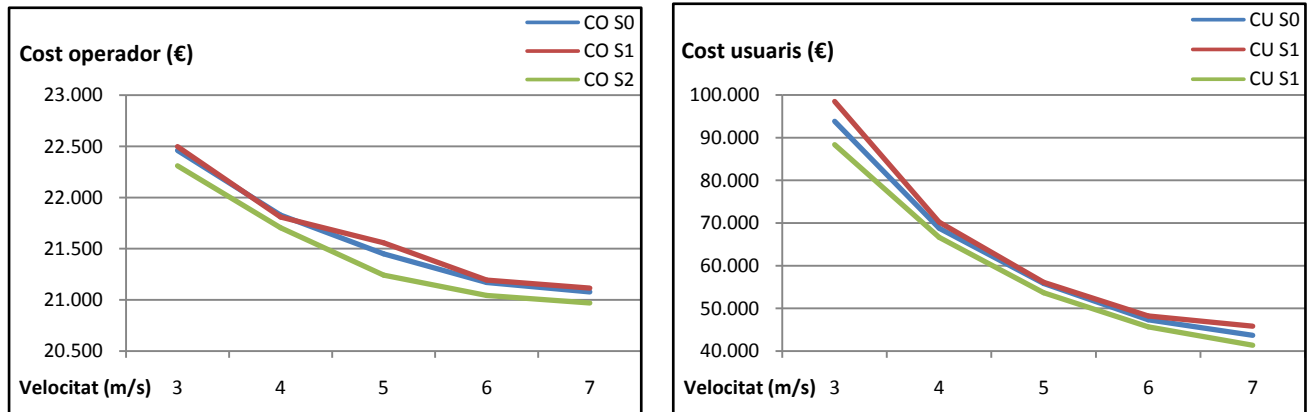


Figura 51 i Figura 52. Costos per a operadors i usuaris per a la simulació amb perturbació de 6 minuts i ST per a l'estratègia S0 de 6 minuts.



En la simulació de perturbació de 6 minuts si que podem realitzar correctament la comparació entre totes les estratègies, veient que depenen també de les comparatives de l'apartat anterior.

Comparant només les estratègies S0, veiem que per un ST petit, els costos són molt més elevats que quan s'estudia els altres casos. És llavors quan els dos costos passen a tenir els mateixos costos o inclús inferiors del cost de l'estratègia S1.

Un fet destacable és que l'estratègia S2 té els costos menors per a tots els casos, deixant de banda que no s'han considerat els costos de tota la maquinària i tecnologies que es requeririen per a la seva implementació.

7.4.5. Nivells de servei

A partir dels valors del coeficient de variació d'interval (C_{vh}) i la classificació mostrada a la Taula 2, podem classificar les diferents estratègies segons el seu nivell de servei (NDS).

Taula 17. Nivells de servei per a les diferents estratègies

Pertorbació de 3 minuts		Estratègia control	Velocitat (m/s)				
			3	4	5	6	7
C_{vh}	ST 3 min	S0	0,326	0,261	0,298	0,249	0,220
	ST 4,5 min	S0	0,067	0,070	0,086	0,249	0,078
	ST 6 min	S0	0,067	0,070	0,086	0,071	0,078
		S1	0,079	0,072	0,139	0,079	0,074
		S2	0,079	0,072	0,138	0,079	0,074
NDS	ST 3 min	S0	C	B	B	B	B
	ST 4,5 min	S0	A	A	A	B	A
	ST 6 min	S0	A	A	A	A	A
		S1	A	A	A	A	A
		S2	A	A	A	A	A
Pertorbació de 6 minuts		Estratègia control	Velocitat (m/s)				
			3	4	5	6	7
C_{vh}	ST 3 min	S0	0,377	0,343	0,357	0,316	0,382
	ST 4,5 min	S0	0,198	0,197	0,206	0,316	0,222
	ST 6 min	S0	0,198	0,197	0,206	0,187	0,224
		S1	0,177	0,185	0,195	0,211	0,233
		S2	0,123	0,148	0,178	0,190	0,165
NDS	ST 3 min	S0	C	C	C	C	C
	ST 4,5 min	S0	A	A	A	C	B
	ST 6 min	S0	A	A	A	A	B
		S1	A	A	A	A	B
		S2	A	A	A	A	A

Com es pot veure en la taula anterior, l'única estratègia que manté el nivell de servei A per a totes les velocitats comercials és l'estratègia S2. Tot i això les estratègies S1 i S0 amb ST de 6 minuts també mantenen nivell de servei A excepte per una pertorbació de 6 minuts i una velocitat comercial de 7 m/s.

També s'ha de remarcar que aquests càlculs són per 4 cicles complets i ja es pot veure que algunes estratègies són inestables, per tant, amb el temps tendint a infinit els nivells de servei baixos acabaran empitjorant i arribaran a nivell E.

7.4.6. Avaluació semafòrica

El temps de cicle semafòric definit, tal com s'ha comentat a l'apartat 7.1.1, és de 100 segons dividit en dos en temps de verd i vermell, per tant, hi ha 50 segons de verd.

A l'estratègia S2 s'ha introduït un increment de temps en la fase semafòrica de verd de 10 segons per a totes les simulacions anteriors, però a continuació es compararan les diferències entre un increment de verd del 10% del temps de cicle i un del 100% o del 20%. També s'analitzaran les millores de l'increment de verd del 10% respecte una simulació sense control semafòric.

Taula 18. Comparació entre increments de verd del 10% i del 20%

Temps Pertorbació (min)		2	4	6
Δ temps de verd 10 segons	Temps total usuaris ponderat (h)	2749,8	2810,7	3052,6
	Temps cicle (min)	63,97	64,37	65,00
	C_{vh}	0,060	0,123	0,172
Δ temps de verd 20 segons	Temps total usuaris ponderat (h)	2749,3	2807,6	2986,2
	Temps cicle (min)	63,97	64,33	64,92
	C_{vh}	0,050	0,122	0,161
Reduccions en %	Temps total usuaris ponderat (h)	0,02	0,11	2,17
	Temps cicle (min)	0,003	0,062	0,123
	C_{vh}	17,19	0,19	6,56

Com podem veure a la taula 18, a partir de les variacions calculades, l'augment del temps de verd suposa unes reduccions ascendents amb les pertorbacions tant del temps total dels usuaris ponderat com del temps de cicle. Aquestes reduccions són considerables per una pertorbació de 6 minuts, mentre que per una pertorbació de 2 minuts són insignificants, i per una de 4, és significatiu a nivell de la reducció del temps del cicle dels autobusos.

Pel que fa al coeficient de variació d'interval, la reducció per a la pertorbació de 4 minuts és molt baixa en comparació amb les reduccions que es donen per a les altres pertorbacions.

Taula 19. Comparació entre increments de verd del 10% i del 100%

Temps Pertorbació (min)		2	4	6
Δ temps de verd 10 segons	Temps total usuaris ponderat (h)	2749,8	2810,7	3052,6
	Temps cicle (min)	63,97	64,37	65,00
	C_{vh}	0,060	0,123	0,172
Δ temps de verd 100 segons	Temps total usuaris ponderat (h)	2748,5	2799,5	2865,3
	Temps cicle (min)	63,96	63,98	64,4
	C_{vh}	0,045	0,120	0,142
Reduccions en %	Temps total usuaris ponderat (h)	0,05	0,40	6,14
	Temps cicle (min)	0,016	0,606	0,923
	C_{vh}	24,49	1,80	17,31

Si ens fixem ara en la taula 19, el comportament és similar a les reduccions produïdes per un increment de temps de verd del 20%, però en aquest cas són majors les reduccions.

Si bé la reducció en temps total per als usuaris per a la pertorbació de 6 minuts passa d'una reducció d'un 2% per al cas anterior a més del 6%, l'increment realitzat és 5 vegades superior.

Taula 20. Comparació entre un increment de verd del 10% i sense cap increment

Temps Pertorbació (min)		2	4	6
Sense Δ temps de verd	Temps total usuaris ponderat (h)	2749,8	2818,2	3215,7
	Temps cicle (min)	63,98	64,50	65,31
	C_{vh}	0,060	0,152	0,211
Δ temps de verd 10 segons	Temps total usuaris ponderat (h)	2749,8	2810,7	3052,6
	Temps cicle (min)	63,97	64,37	65
	C_{vh}	0,060	0,123	0,172
Increment en %	Temps total usuaris ponderat (h)	0,00	0,27	5,07
	Temps cicle (min)	0,013	0,196	0,476
	C_{vh}	0,00	19,34	18,18

A la taula 20 es mostren les millores que suposen l'aplicació d'un increment de verd, i es pot apreciar que són destacables com majors són les pertorbacions. A velocitats reduïdes els efectes no són gaire destacables.

Cal destacar que l'aplicació de control semafòric només amb un increment del temps de verd del 10% suposa una reducció del temps total per als usuaris de més del 5% per a la pertorbació de 6 minuts. Això representa una millora significativa en quant a C_{vh} .

Amb això, resulta bastant interessant l'aplicació del control semafòric per a la millora de l'eficiència de les línies.

Per tot l'anterior, seria interessant en futures investigacions estudiar els efectes d'aquest increment en el temps de verd sobre diferents estratègies i possibles pertorbacions de manera que el sistema sigui encara més fiable i regular. També caldria estudiar en detall fins a quin increment del temps de verd és interessant la seva aplicació.

7.4.7. Avaluació d'estratègia conjunta

A continuació es realitza la comparació entre l'estratègia S2 i una estratègia que aglutina les estratègies S0 i S2 per avaluar les millores que podria suposar.

Per fer-ho es considera un ST de 4,5 minuts per a l'estratègia S0.

Taula 21. Avaluació d'estratègies amb pertorbació de 3 minuts

		Estratègia control	Velocitat (m/s)				
			3	4	5	6	7
Nombre autobusos de la flota	ST 4,5 min	S2	19	16	14	13	12
		S0 + S2	20	17	15	13	13
Temps cicle (min)	ST 4,5 min	S2	94,7	79,2	69,5	64,0	59,2
		S0 + S2	98,74	83,56	73,61	64,57	63,53
C _{vh}	ST 4,5 min	S2	0,079	0,072	0,138	0,079	0,074
		S0 + S2	0,053	0,075	0,081	0,126	0,088
Temps viatge total (h)	ST 4,5 min	S2	5634	4042	3231	2752	2421
		S0 + S2	5842	4263	3411	2858	2597

Taula 22. Avaluació d'estratègies amb pertorbació de 6 minuts

		Estratègia control	Velocitat (m/s)				
			3	4	5	6	7
Nombre autobusos de la flota	ST 4,5 min	S2	19	16	14	13	12
		S0 + S2	20	17	15	13	13
Temps cicle (min)	ST 4,5 min	S2	95,4	80,2	70,5	65,2	60,2
		S0 + S2	99,41	84,23	74,47	64,98	64,19
C _{vh}	ST 4,5 min	S2	0,123	0,148	0,178	0,190	0,165
		S0 + S2	0,108	0,110	0,186	0,163	0,129
Temps viatge total (h)	ST 4,5 min	S2	5890	4443	3578	3046	2758
		S0 + S2	5996	4369	3552	3046	2700

A les taules anteriors es pot apreciar que en el cas de la pertorbació de 3 minuts i amb aquest temps de marge (*slack time*) no és més efectiva la combinació d'estratègies. En canvi per a la pertorbació de 6 minuts, obtenim temps de viatge i coeficients de variació d'interval inferiors a S2, que és l'estratègia amb millors resultats. Tot i això, el nombre d'autobusos és superior excepte per a la velocitat de 6 m/s. En aquest cas, el temps de viatge total és el mateix, però el temps de cicle és inferior.

Amb això es pot afirmar que la combinació d'estratègies pot resultar la millor solució, i s'haurà de realitzar l'estudi de les possibles combinacions per a cada cas específic.

8. Conclusions

En el present treball s'ha desenvolupat i simulat una eina computacional que integra tres estratègies de control d'una flota d'autobusos: control a partir de punts de control fixos (S0), control de velocitat (S1) i control de velocitat i semafòric (S2).

El primer a destacar és que l'estratègia S2 és la que proporciona els millors resultats tant a nivell de l'usuari com per a l'operador per a tots els casos analitzats, per tant, a igualtat de vehicles és la més eficient. Si bé no s'han considerat en els costos la tecnologia necessària per a les diferents estratègies i només s'han avaluat segons nombre de vehicles i temps invertits en el trajecte, previsiblement aquesta ho seguiria sent però s'hauria de realitzar un anàlisi econòmic detallat per confirmar-ho. També és la millor en quant a nivell de servei que sempre és A, mentre que per les altres decreix per a alguna velocitat en les diferents simulacions, arribant al nivell C en alguns casos.

D'altra banda, el temps de pertorbació també és un factor determinant per a l'aplicació de les estratègies, en els casos amb pertorbació de 3 minuts, els resultats per a les estratègies S1 i S2 són els mateixos, mentre que quan és de 6 minuts les diferències són considerables, per tant, el primer factor determinant en l'estudi de qualsevol línia d'autobusos serà la pertorbació esperada.

Els resultats amb una pertorbació de 6 minuts són significatius per a l'estudi tal com s'ha analitzat anteriorment. En aquest cas, podem tornar a l'equilibri a partir de l'aplicació de les estratègies tot i ser major la pertorbació que l'interval de pas.

Un dels factors més determinants per a l'estudi d'una línia és el nombre d'autobusos que s'estimin necessaris, ja que, depenent d'això els temps es poden igualar. Per a la pertorbació de 6 minuts, les estratègies S2 i S0 amb un *ST* de 6 minuts tenen uns coeficients de variació d'interval similars, per tant, la seva fiabilitat serà similar, però això s'aconsegueix amb un autobús més per a totes les velocitats en l'estratègia S0, que acaba comportant uns temps de cicle i de viatge majors. A més, aquest vehicle de més acaba suposant uns costos superiors per a totes les parts implicades, deixant de ser atractiva. Per altra banda, per a les estratègies S1 i S2 els costos són més pròxims perquè requereixen del mateix nombre d'autobusos però la S1 es troba penalitzada amb uns temps de cicle més elevats.

Pel que fa a les variables imposades, es podria considerar que la velocitat comercial dels vehicles és determinant. A partir de l'anàlisi dels costos pels usuaris i l'operador es veu com els costos són decreixents amb la velocitat degut a que els temps de trajecte són menors. És per això que no interessen estratègies que redueixin la velocitat per poder garantir la regularitat, com algunes realitzades fins al moment, interessen estratègies com les estudiades que es modelitzen a partir de velocitats fixades i es poden variar però sempre tendint al valor desitjat.

En quant a l'avaluació semafòrica per a l'estratègia S2, es pot concloure que un major increment en la fase de verd comença a ser determinant a partir de certs valors de la pertorbació, mentre aquesta no sigui molt important no interessarà afectar més a la resta del trànsit amb increments superiors. Per al cas amb una pertorbació de 6 minuts, la reducció de temps de trajecte per als usuaris entre aplicar un increment de temps de verd de 10 i 100 segons és de més del 6%, essent considerablement significativa per als usuaris. Tot i això amb 20 segons la reducció ja és del 2%, per tant, s'haurà d'avaluar el valor d'increment necessari en cada cas estudiat.

Dit això, es demostra que la millor estratègia estudiada, per a pertorbacions importants, és l'estratègia de control de velocitat dels vehicles amb control semafòric (S2), amb la qual s'obtenen els millors resultats per a les diferents variables analitzades. Depenent de la pertorbació s'haurien de tenir en compte les altres estratègies, però a partir de valors propers a l'interval de pas fixat o superiors, aquesta serà l'òptima.

En qualsevol cas cal destacar que el temps d'estudi per a la línia és reduït i pot succeir que en l'aplicació a casos reals d'aquestes estratègies, amb un major nombre de cicles, les diferències obtingudes entre elles s'incrementin i tinguin comportaments inestables.

Finalment, cal tenir present que en aquesta tesina s'ha considerat una demanda uniforme a les parades simplificant el comportament dels viatgers. Per això, en futurs estudis, es poden considerar demandes de viatgers variables en el temps. Una altra possibilitat és l'estudi de si seria efectiu permetre l'avançament d'autobusos quan s'aparellen. Una altra variable a tenir en compte en un futur és l'estudi del comportament dels viatgers davant de possibles demores per a totes les estratègies, no només en una com fins ara, en quant a l'elecció del transport.

A l'anterior cal afegir que, tal com s'ha vist en l'avaluació d'estratègia conjunta, per a determinats casos s'haurà d'estudiar la combinació d'estratègies per a l'obtenció dels millors resultats.

En definitiva, és convenient aplicar estratègies de control per a obtenir millores en la regularitat de les línies d'autobusos, incrementant-ne així l'eficiència, i, sempre que els paràmetres de disseny siguin variables, caldrà que s'adaptin al cas d'estudi. Per tant, cal analitzar cada cas i prendre les decisions adequades.

9. Referències bibliogràfiques

Baaj, M.H., i H.S. Mahmassani (1991). An AI-Based Approach for Transit Route System Planning and Design. *Journal of Advanced Transportation*, Vol 25 (2), 187-210.

Ceder, A. i N.H.M. Wilson (1986). Bus network design. *Transportation Research Part B*, vol. 20(4), pp. 331-344.

Daganzo, C. F. (2009). A headway-based approach to eliminate bus bunching: Systematic analysis and comparisons. *Elsevier, New York*.

Desaulniers, G. i Hickman, M.D. (2003). Public transit. *Les Cahiers du GERAD*

Estrada, M., Thorson, L., Campos, M. i Robusté, F. (2007). Bus Headway Variations: Improving Bus Reliability And Passenger Travel Time In Dynamic Systems. *Proceedings of 11th World Congress on Transport Research*. Berkeley. June 24-28.

Furth, P.G. (1987). Short Turning on Transit Routes. *Transportation Research Record*, Vol.1108, 42–52.

Furth, P.G., i N.H.M. Wilson (1982). Setting Frequencies on Bus Routes: Theory and Practice. *Transportation Research Record*, Vol. 818, 1–7.

Israeli, Y., i Ceder A. (1989). Designing Transit Routes at the Network Level. Proceedings of the First Vehicle Navigation and Information Systems Conference, *IEEE Vehicular Technology Society*, 310-316.

Jordan, W.C i Turnquist M.A. (1979). Zone Scheduling of Bus Routes to Improve Service Reliability. *Transportation Science* 13(3), 242-268.

Lampkin, W. i Saalmans, P.D. (1967). The design of routes, service frequencies and schedules for a municipal bus undertaking: Case study. *Operation Research Quarterly*, vol. 18(4), pp. 375-397.

Nagatani, T. (2001). Interaction between buses and passengers on a bus route. *Physica A: Statistical Mechanics and its applications*, vol 296 (3-4), pp. 320-330.

Nagatani, T. (2001). Delay transition of a recurrent bus on a circular route. *Physica A: Statistical Mechanics and its applications*, vol. 297, pp. 260-268.

Newell, G.F. (1979). Some issues relating to the optimal design of bus routes. *Transportation Science*, vol. 13(1), pp. 20-35.

Pattnaik, S.B., Mohan S. i Tom. V.M. (1998). Urban bus transit route network design using genetic algorithm. *Journal of Transportation Engineering, ASCE*, vol. 124(4), pp. 368-375, 1998

Pilachowski, J.M. (2009). An approach to reducing bus bunching. *University of California Transportation Center*, Dissertation No.165, Berkeley.

Rossetti, M.D. i T. Turitto (1998). Comparing static and dynamic threshold based control strategies. *Transportation Research Part B*, vol. 32 (8), pp.607-620.

Scheele, S. (1980). A Supply Model for Public Transit Services. *Transportation Research – Part B* 14, 133-146.

Tom, V.M. i Mohan, S. (2003). Transit Route Network Design Using Frequency Coded Genetic Algorithm. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 129, No. 2, 186–195.

Turnquist, M.A. (1981). Strategies for improving reliability of bus transit service. *Transportation Research*, Record 818, pp. 25-29.

Van Oort, N. (2011). Service reliability and urban public transport design. *Dissertation*. Delft University of Technology.

ANNEXES

ANNEX 1. CODI DE L'EINA COMPUTACIONAL IMPLEMENTADA

CODI DEL PROGRAMA PER A L'ESTRATÈGIA S0

Option Explicit

DefDbl A-F

DefInt G-N

Dim l, m, i, j, k, k2, ncicle, j1, k3, hh1, hh2, i1, i2, ii2, nvehref, h1, h2, ii1, jj1, k4 _
 , nflot, nparreh1, nparreh2, nparrei3, nparrei4, k5, k66, k6, nparef1, k7, k8, nparrefu, _
 k71, jj2, nparrefu1, nreff1, nreff2, j2, j3, nlim, kk1, niter, kola, kola1, kh1, kkk1, kkk2, _
 kkk3, kkk4, kkk5, nrefa, kkk6, kkk7, kkk8, hz1, nabans, nred, kj, kjj, nitera, nent, naa, ka, kg _
 , ntraj1, Imprimir
 Dim temppar, dist, ds, db, dwsum, dtsum, tcicle, _
 alayo1, tlayo, TLAYOMIG, tmin, demsi2i1, dembi2i1, demsi1i1, dembi1i1, _
 demsh1i1, dembh1i1, demsh2i1, dembh2i1, dtraj, dpar1, dpar2, dpar3, dpar4, dd1, dd2, _
 dpar5, aincre, deltai1, deltai2, deltah1, deltah2, deltaa, tentra, tdesc, daux1, daux2, _
 aincre1, dpar6, asum1, asum2, asum3, asum4, asum5, asum6, asum7, asum8, apaxtotanada, _
 apaxtottorn, resta1, ocupah1, ocupah2, ocupai2, ocupai1, ocupa, exces1, resta2, _
 exces2, ocupa11, restah1, restai1, restah2, restai2, tsum, tespe, atemps, atemps1, tsortida, tdif

Dim ttrajecte(200) As Double

Dim tespera(200) As Double

Dim tparada(200) As Double

Dim ttrajectos As Double

Dim tesperas As Double

Dim tparadas As Double

Dim temp(200) As Double

Dim temps As Double

Dim marcador1 As Integer

Dim marcador2 As Integer

Dim hMenoshBarra(200) As Double

Dim marcadores3 As Integer

Dim S As Double

Dim marcador3(200) As Double

Dim hMenoshBarras As Double

Dim Cv As Double

Private Sub cargar_Click()

dist = apar * (npar - 1) * 2

Open " C:\Documents and Settings\Escritorio\Tesina VB\dades\anada.txt" For Input As #10

For i = 1 To npar

For j = 1 To npar

Input #10, aps(i, j)

Next

Next

Close #10

Open "C:\Documents and Settings\Escritorio\Tesina VB \dades\tornada.txt" For Input As #9

For i = 1 To npar

For j = 1 To npar

Input #9, aps(i + npar, j + npar)

Next

Next

Close #9

Open " C:\Documents and Settings\Escritorio\Tesina VB\dades\result.txt" For Output As #11

dwsum = 0

dtsum = 0

For i = 1 To npar

For j = 1 To npar

Write #11, "Anada.Total gent de", i, "a", j, "es", aps(i, j) * dtotal1

Next

Next

For i = 1 To npar

For j = 1 To npar

Write #11, "Tornada.Total gent de", i, "a", j, "es", aps(i + npar, j + npar) * dtotal2

Next

Next

Open " C:\Documents and Settings\Escritorio\Tesina VB \dades\parades.txt" For Input As #15

For i = 1 To 2

For j = 1 To npar

Input #15, xpar(j + (i - 1) * npar)

Next

Next

Close #15

Open " C:\Documents and Settings\Escritorio\Tesina VB \dades\inter.txt" For Input As #16

For j = 1 To ninters

Input #16, xinters(j)

Next

Close #16

For i = 1 To ninters

If i = 1 Then verd(i) = xinters(i) / vel

If (i = (ninters / 2) + 1) Then verd(i) = (xinters(i) - xpar(npar)) / vel

If ((i <> 1) And (i <> ninters / 2 + 1)) Then verd(i) =
= verd(i - 1) + (xinters(i) - xinters(i - 1)) / vel

Next

For i = 1 To ninters

If verd(i) > tciclesem Then

nitera = verd(i) \ tciclesem

verd(i) = verd(i) - nitera * tciclesem

End If

Next

asum2 = 0

asum4 = 0

asum6 = 0

asum8 = 0

apaxtotanada = 0

apaxtottorn = 0

For i = 1 To npar

asum1 = 0

asum3 = 0

asum5 = 0

asum7 = 0

For j = 1 To npar

If j >= i Then

asum1 = asum1 + aps(i, j)

```

    asum5 = asum5 + aps(i + npar, j + npar)
End If
Next

For j1 = 1 To npar
    If j1 < i Then
        asum3 = asum3 + aps(j1, i)
        asum7 = asum7 + aps(j1 + npar, i + npar)
    End If
Next
adalt(i) = asum1 * dtotal1 / 3600
adalt(i + npar) = asum5 * dtotal2 / 3600
asum2 = asum2 + asum1
asum4 = asum4 + asum3
asum6 = asum6 + asum5
asum8 = asum8 + asum7
apaxtotanada = apaxtotanada + (asum1 - asum3) * dtotal1 / 60 * aint
apaxtottorn = apaxtottorn + (asum5 - asum7) * dtotal2 / 60 * aint
ds = asum1 * (dtotal1 / 60) * aint * gamma
db = asum3 * (dtotal1 / 60) * aint * delta
If ds > db Then
    dtsum = dtsum + ds
Else
    dtsum = dtsum + db
End If
Write #11, "pujada", asum1 * (dtotal1 / 60) * aint, ds, "baixada", _
asum3 * (dtotal1 / 60) * aint; db, "en anada en par", i
Write #11, "paxtram anada", i, apaxtotanada
ds = asum5 * dtotal2 / 60 * aint * gamma
db = asum7 * dtotal2 / 60 * aint * delta
If ds > db Then
    dwtsum = dwtsum + ds
Else
    dwtsum = dwtsum + db
End If
Write #11, "pujada", asum5 * (dtotal2 / 60) * aint, ds, "baixada", _
asum7 * (dtotal2 / 60) * aint; db, "en anada en par", i + npar
Write #11, "paxtram tornada", i + npar, apaxtottorn
Write #11, "temps anada", dtsum, "temps tornada", dwtsum
If apaxtotanada > 1 * cap Then
    MsgBox ("se supera la capacitat del veh en arc" & i)
    Write #11, " ERROR EN ARC", i
End If
If apaxtottorn > 1 * cap Then
    MsgBox ("se supera la capacitat del veh en arc" & i + npar)
    Write #11, " ERROR EN ARC", i + npar
End If

```

Next

```

Write #11, "temps parades anada", dtsum, "temps parades tornada", dwtsum
Write #11, "pujades anada", asum2 * dtotal1 * aint / 60, "baixades anada", asum4 _
* dtotal1 * aint / 60, "puj. torn", asum6 * dtotal2 * aint / 60, "baix. torn", asum8 _
* dtotal2 * aint / 60

```

```
For j = 1 To npar - 1
    naa = 0
    numint(j, 2) = 0
    For i = 1 To ninters / 2
        If (xinters(i) > xpar(j)) And (xinters(i) <= xpar(j + 1)) Then
            naa = naa + 1
            numint(j, 2) = numint(j, 2) + 1
            If naa = 1 Then
                numint(j, 1) = i
            End If
        End If
    Next i
Next j
Next j

For j = 1 To npar - 1
    naa = 0
    For i = 1 To ninters / 2
        If (xinters(i + ninters / 2) > xpar(j + npar)) And (xinters(i + ninters / 2) <= _
xpar(j + 1 + npar)) Then
            naa = naa + 1
            numint(j + npar, 2) = numint(j + npar, 2) + 1
            If naa = 1 Then numint(j + npar, 1) = i + ninters / 2
        End If
    Next i
Next j
Next j

t(1, 1) = adalt(1) * aint * 60 * gamma
For i = 1 To npar - 1
    For j = 1 To numint(i, 2)
        If j = 1 Then
            atemps = t(1, i) + (xinters(numint(i, 1) + (j - 1)) - xpar(i)) / vel
            nent = atemps \ tciclesem - 1
            For k = 1 To 20
                If (verd(numint(i, 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem < atemps) And (verd(numint(i, 1)) + (nent + k
- 1) * tciclesem + tverd >= atemps) Then
                    atemps1 = atemps
                End If
                If (verd(numint(i, 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem + tverd < atemps) And (verd(numint(i, 1)) +
(nent + k) * tciclesem >= atemps) Then
                    atemps1 = verd(numint(i, 1)) + (nent + k) * tciclesem
                End If
            Next k
        Else
            atemps = atemps1 + (xinters(numint(i, 1) + (j - 1)) - _
xinters(numint(i, 1) + (j - 2))) / vel
            nent = atemps \ tciclesem - 1
            For k = 1 To 20
                If (verd(numint(i, 1) + (j - 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem < atemps) And (verd(numint(i, 1) + (j
- 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem + tverd >= atemps) Then
                    atemps1 = atemps
                End If
            Next k
        End If
    Next j
Next i
```

```

        If (verd(numint(i, 1) + (j - 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem + tverd < atemps) And
(verd(numint(i, 1) + (j - 1)) + (nent + k) _
        * tciclesem >= atemps) Then
            atemps1 = verd(numint(i, 1) + (j - 1)) + (nent + k) * tciclesem
        End If
    Next
End If
Next
atemps1 = atemps1 + (xpar(i + 1) - xinters(numint(i, 1) + numint(i, 2) - 1)) / vel
For j1 = 1 To npar
    If j1 > i Then
        abaix(1, j1) = abaix(1, j1) + aps(i, j1)
    End If
Next
Write #11, adalt(i + 1) * aint * 60 * gamma, abaix(1, i + 1) * dtotal1 / 60 * aint * delta
If (adalt(i + 1) * aint * 60 * gamma > abaix(1, i + 1) * dtotal1 / 60 * aint * delta) Then
    dpar5 = adalt(i + 1) * aint * 60 * gamma
Else
    dpar5 = abaix(1, i + 1) * dtotal1 / 60 * aint * delta
End If
t(1, i + 1) = atemps1 + dpar5

dpar5 = 0
Next
t(1, npar + 1) = t(1, npar) + alayo * 60 + adalt(npar + 1) * aint * 60 * gamma

For i = 1 To npar - 1
    For j = 1 To numint(i + npar, 2)
        If j = 1 Then
            atemps = t(1, i + npar) + (xinters(numint(i + npar, 1) + (j - 1)) - xpar(i + npar)) / vel
            nent = atemps \ tciclesem - 1
            For k = 1 To 20
                If (verd(numint(i + npar, 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem < atemps) And (verd(numint(i + npar,
1)) + (nent + k - 1) _
                * tciclesem + tverd >= atemps) Then
                    atemps1 = atemps
                End If
                If (verd(numint(i + npar, 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem + tverd < atemps) And (verd(numint(i
+ npar, 1)) + (nent + k) _
                * tciclesem >= atemps) Then
                    atemps1 = verd(numint(i + npar, 1)) + (nent + k) * tciclesem
                End If
            Next
        Else
            atemps = atemps1 + (xinters(numint(i + npar, 1) + (j - 1)) - _
xinters(numint(i + npar, 1) + (j - 2))) / vel
            nent = atemps \ tciclesem - 1
            For k = 1 To 20
                If (verd(numint(i + npar, 1) + (j - 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem < atemps) And (verd(numint(i
+ npar, 1) + (j - 1)) + (nent + k - 1) _
                * tciclesem + tverd >= atemps) Then
                    atemps1 = atemps
                End If
                If (verd(numint(i + npar, 1) + (j - 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem + tverd < atemps) And
(verd(numint(i + npar, 1) + (j - 1)) + (nent + k) _

```

```
* tciclesem >= atemps) Then
    atemps1 = verd(numint(i + npar, 1) + (j - 1)) + (nent + k) * tciclesem
End If
Next
End If
Next
atemps1 = atemps1 + (xpar(i + npar + 1) - xinters(numint(i + npar, 1) + numint(i + npar, 2) - 1)) /
vel
For j1 = 1 To npar
    If j1 + npar > i + npar Then
        abaix(1, j1 + npar) = abaix(1, j1 + npar) + aps(i + npar, j1 + npar)
    End If
Next
If (adalt(i + 1 + npar) * aint * 60 * gamma > abaix(1, i + npar + 1) * dtotal1 / 60 * aint * delta) Then
    dpar5 = adalt(i + npar + 1) * aint * 60 * gamma
Else
    dpar5 = abaix(1, i + npar + 1) * dtotal2 / 60 * aint * delta
End If
t(1, i + npar + 1) = atemps1 + dpar5
dpar5 = 0
Next

t(1, 2 * npar) = t(1, 2 * npar) + alayo * 60
tcicle = t(1, 2 * npar)
nflot = ((tcicle) \ (aint * 60)) + 1
alayo1 = nflot * aint * 60 - tcicle
tlayo = alayo1 + alayo * 60 * 2
TLAYOMIG = tlayo / 2
Write #11, "tcicle", tcicle, "nflota", nflot
For i = 0 To nparamax
    t(1, i) = 0
    abaix(1, i) = 0
Next
ncicle = (nparamax \ (npar * 2)) + 1
If (((ncicle - 1) * npar * 2 - nparamax) = 0) Then ncicle = ncicle - 1
Write #11, "ncicle", ncicle

For i = 1 To (ncicle - 1)
    For j = 1 To 2 * npar
        For k = 1 To 2 * npar
            If ((k <= npar) And (k > j)) Or ((j > npar) And (k > npar) _
                And (k > j)) Then
                aps(j + i * 2 * npar, k + i * 2 * npar) = aps(j, k)
                Write #11, "estic escrivint aps", j + i * 2 * npar, k + i * 2 * npar; _
                aps(j + i * 2 * npar, k + i * 2 * npar)
            End If
        Next
        adalt(j + i * 2 * npar) = adalt(j)
        Write #11, "estic escrivint adalt", j + i * 2 * npar, adalt(j + i * 2 * npar)
    Next
Next
cap = 1 * cap
Close #11
End Sub
```


Private Sub calcular_Click()

Open " C:\Documents and Settings\Escritorio\Tesina VB \dades\temps.txt" For Output As #18

Write #14, "j"; j; "tpert"; tpert; "nflot"; nflot

Write #15, "j"; j; "tpert"; tpert; "nflot"; nflot

Write #17, "j"; j; "tpert"; tpert; "nflot"; nflot

For j = 1 To nflot

 t(j, 0) = aint * 60 * (j - 1)

 npos(j) = 0

 For i = 1 To nparamax

 t(j, i) = 0

 taux(j, i) = 0

 Next

 taux(j, 1) = aint * 60 * (j - 1)

 'Write #14, "taux(j, 1)"; taux(j, 1)

 v(j, 1) = vel

 delta1(j, 0) = aint * 60

 delta2(j, 1) = aint * 60

 ocup(j, 0) = 0

Next

k2 = 0

k3 = 0

k4 = 0

Do While k2 = 0

 tmin = 100000000

 k4 = k4 + 1

 If k3 = 1 Then

 For j = 1 To nflot

 If (tmin > taux(j, npos(j) + 1)) And (taux(j, npos(j) + 1) > 0) Then

 tmin = taux(j, npos(j) + 1)

 nvehref = j

 Write #17, "k3", k3, "k2", k2, "k4", k4, "j", j, "taux(j, npos(j) + 1)", (taux(j, (npos(j) + 1)))

 Write #17, "tmin ", tmin

 End If

 Next

 'fixo temps d'arribada d'autobus

 t(nvehref, npos(nvehref) + 1) = taux(nvehref, npos(nvehref) + 1)

 v(nvehref, npos(nvehref)) = vaux(nvehref, npos(nvehref))

 Write #14, "taux(j, npos(j) + 1)", (taux(j, (npos(j) + 1))), "tmin ", tmin, _

 "t(nvehref, npos(nvehref) + 1)", (t(nvehref, npos(nvehref) + 1)), "ocup(nvehref,npos(nvehref))", _

 (ocup(nvehref, npos(nvehref))), "nvehref", nvehref, "npos(nvehref)", npos(nvehref)

 If (npos(nvehref) > 0) Then

 ocup(nvehref, npos(nvehref)) = ocup(nvehref, npos(nvehref) - 1) + resta(nvehref) _

 - abaix(nvehref, npos(nvehref))

 Write #14, "ocup(nvehref, npos(nvehref))", ocup(nvehref, npos(nvehref)), _

 "ocup(nvehref, npos(nvehref) - 1)", ocup(nvehref, npos(nvehref) - 1), _

 "resta(nvehref)-abaix(nvehref, npos(nvehref))", resta(nvehref) - abaix(nvehref, npos(nvehref)), _

 "resta(nvehref)", (resta(nvehref)), "(abaix(nvehref, npos(nvehref)))", (abaix(nvehref,

npos(nvehref)))

 nlim = 0

```
kola = 0
For kk1 = 1 To ncicle
  If (npos(nvehref) <= (kk1 * 2 * npar) - npar) And (npos(nvehref) > (kk1 - 1) * 2 * npar) Then
    nlim = (kk1 * 2 * npar) - npar
    kola = 1
  End If
  If (npos(nvehref) < (kk1 * 2 * npar)) And (npos(nvehref) > ((kk1 - 1) * 2 * npar + npar)) Then
    nlim = kk1 * 2 * npar
    kola = 2
  End If
Next
niter = nlim - npos(nvehref)
asum1 = 0
For kh1 = 1 To niter

  If kola = 1 Then
    abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1) = abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1) + _
    (resta(nvehref) * aps(npos(nvehref), npos(nvehref) + kh1) * dtotal1 / 3600 /
    adalt(npos(nvehref)))
  Else
    abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1) = abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1) + _
    (resta(nvehref) * aps(npos(nvehref), npos(nvehref) + kh1) * dtotal2 / 3600 /
    adalt(npos(nvehref)))
  End If

  'Write #14, "kh1"; kh1
  Write #15, "kola"; kola, "kh1", kh1, "abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1)"; _
  abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1)
  Write #15, "(resta(nvehref) * aps(npos(nvehref), npos(nvehref) + kh1) * dtotal1 / 3600 /
  adalt(npos(nvehref)))", _
  (resta(nvehref) * aps(npos(nvehref), npos(nvehref) + kh1) * dtotal1 / 3600 /
  adalt(npos(nvehref)))

Next
End If
npos(nvehref) = npos(nvehref) + 1
End If
If k3 = 0 Then
  npos(1) = npos(1) + 1
  t(1, npos(1)) = t(1, 0)
End If

'es comença a calcular els intervals de temps entre autobusos
k3 = 1
For j = 1 To nflot
  k5 = 0
  For i = 1 To ncicle * 2
    If (npos(j) = i * npar) Then k5 = 1
  Next
  If ((npos(j) > 0) And (k5 = 0)) Then
    nparrefu = 0
    If j = 1 Then
      jj1 = nflot
      nparrefu = npar * 2
    Else
```

```

    jj1 = j - 1
End If
If ((npos(jj1) = 0) Or (npos(1) <= npar * 2)) Then
    aincre = aint * 60
    vaux(j, npos(j)) = vel
Else
    aincre = t(j, npos(j)) - t(jj1, npos(j) - nparrefu)
End If

kkk5 = 0
If (gamma * (aincre * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j))) > delta * abaix _
(j, npos(j))) Then
    dpar5 = gamma * (aincre * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j)))
    kkk5 = 1
Else
    dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
End If
ocupa = ocup(j, npos(j) - 1) + aincre * adalt(npos(j)) - _
abaix(j, npos(j)) + excess(j, npos(j))
resta(j) = aincre * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j))
If (j = nflot) Then
    j1 = 1
    nrefa = npar * 2
Else
    j1 = j + 1
    nrefa = 0
End If
If ocupa > 1 * cap Then
    resta(j) = cap - ocup(j, npos(j) - 1) + abaix(j, npos(j))
    excess(j1, npos(j) + nrefa) = ocupa - cap
    If kkk5 = 1 Then
        If resta(j) * gamma > delta * abaix(j, npos(j)) Then
            dpar5 = resta(j) * gamma
        Else
            dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
        End If
    Else
        dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
    End If
End If
If (npos(j) = nparpert - 1) And (j = nvehpert) Then dpar5 = dpar5 + tpert * 60
tsortida = t(j, npos(j)) + dpar5
dpar(j, npos(j)) = dpar5

For ka = 1 To ncicle
    If ((ka * 2 * npar) >= npos(j)) And (((ka - 1) * 2 * npar) < npos(j)) Then
        ntraj1 = npos(j) - (ka - 1) * 2 * npar
    End If
Next

For kg = 1 To numint(ntraj1, 2)
    If kg = 1 Then
        atemps = tsortida + (xinters(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) - xpar(ntraj1)) / vel
        nent = atemps \ tciclesem - 1
    For k = 1 To 20

```

```

    If (verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem < atemps) And (verd(numint(ntraj1, 1))
+ (nent + k - 1) _
    * tciclesem + tverd + tsalt * nvaria(j) >= atemps) Then
        atemps1 = atemps
        If (verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem >= atemps) Or (verd(numint(ntraj1,
1)) + (nent + k - 1) _
        * tciclesem + tverd < atemps) Then
            estalvi(j, npos(j)) = (verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k) * tciclesem) - atemps
        End If
    End If
    If (verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem + tverd + tsalt * nvaria(j) < atemps) And
(verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k) _
    * tciclesem >= atemps) Then
        atemps1 = verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k) * tciclesem
    End If
Next
Else
    atemps = atemps1 + (xinters(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) - _
xinters(numint(ntraj1, 1) + (kg - 2))) / vel
    nent = atemps \ tciclesem - 1
    For k = 1 To 20
        If (verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem < atemps) And
(verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k - 1) _
        * tciclesem + tverd + tsalt * nvaria(j) >= atemps) Then
            atemps1 = atemps
            If (verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem >= atemps) Or
(verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k - 1) _
            * tciclesem + tverd < atemps) Then
                estalvi(j, npos(j)) = (verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k) * tciclesem) - atemps
            End If
        End If
        If (verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem + tverd + tsalt * nvaria(j) <
atemps) And (verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k) _
        * tciclesem >= atemps) Then
            atemps1 = verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k) * tciclesem
        End If
    Next
End If
Next
atemps1 = atemps1 + (xpar(ntraj1 + 1) - xinters(numint(ntraj1, 1) + numint(ntraj1, 2) - 1)) / _
vel
If atemps1 < taux(j - 1, npos(j)) + 60 * aint Then
    If j = 1 Then
        If npos(j) > 40 Then
            atemps1 = taux(nflot, npos(j)) + 60 * aint
        End If
    Else
        atemps1 = taux(j - 1, npos(j)) + 60 * aint
    End If
End If
taux(j, npos(j) + 1) = atemps1

End If

If ((k5 = 1) And (npos(j) > 0)) Then

```

```

nparef1 = 0
k66 = 0
If j = 1 Then
    hh1 = nflot
    nparef1 = npar * 2
    If (npos(1) < npar * 2) Then
        resta(j) = adalt(npos(j)) * aint * 60
        k66 = 1
    End If
Else
    hh1 = j - 1
End If

If k66 = 0 Then
    kkk6 = 0
    tentra = taux(hh1, npos(j) + 1 - nparef1) + aint * 60
    deltaa = t(j, npos(j)) - t(hh1, npos(j) - nparef1)
    If (gamma * (deltaa * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j))) > _
        delta * abaix(j, npos(j))) Then
        dpar5 = gamma * (deltaa * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j)))
        kkk6 = 1
    Else
        dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
    End If
    ocupa = ocup(j, npos(j) - 1) + deltaa * adalt(npos(j)) - _
        abaix(j, npos(j)) + excess(j, npos(j))
    resta(j) = deltaa * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j))
    If (j = nflot) Then
        j1 = 1
        nrefa = npar * 2
    Else
        j1 = j + 1
        nrefa = 0
    End If
    If ocupa > 1 * cap Then
        resta(j) = cap - ocup(j, npos(j) - 1) + abaix(j, npos(j))
        excess(j1, npos(j) + nrefa) = ocupa - cap
        If kkk6 = 1 Then
            If resta(j) * gamma > delta * abaix(j, npos(j)) Then
                dpar5 = resta(j) * gamma
            Else
                dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
            End If
        Else
            dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
        End If
    End If
    tdesc = tentra - (t(j, npos(j)) + dpar5 + tdescmin * 60)
    If tdesc < 0 Then
        tentra = t(j, npos(j)) + dpar5 + tdescmin * 60
    End If
Else
    If (gamma * (aint * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j))) > _
        delta * abaix(j, npos(j))) Then

```

```
dpar5 = gamma * (aint * 60 * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j)))
Else
    dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
End If
tentra = t(j, npos(j)) + dpar5 + TLAYOMIG

'End If
End If
taux(j, npos(j) + 1) = tentra
Write #17, "taux(j, npos(j) + 1)final", taux(j, npos(j) + 1)
dpar(j, npos(j)) = dpar5
End If

Write #13, j, npos(j), atemps1

Next
nreff1 = 0
nreff2 = 0
For j = 1 To nflot * 2
    If j > nflot Then
        j1 = j - nflot
    Else
        j1 = j
    End If
    If j1 = 1 Then
        j2 = nflot
        nreff1 = npar * 2
    Else
        j2 = j1 - 1
        nreff1 = 0
    End If
    If j2 = 1 Then
        j3 = nflot
        nreff2 = npar * 2
    Else
        j3 = j2 - 1
        nreff2 = 0
    End If
    kkk7 = 0
    If npos(1) > npar * 2 Then
        aincree = t(j1, npos(j1)) - t(j2, npos(j1)) - nreff1
        If (gamma * (aincree * adalt(npos(j1)) + excess(j1, npos(j1))) > _
            delta * abaix(j1, npos(j1))) Then
            dpar5 = gamma * (aincree * adalt(npos(j1)) + excess(j1, npos(j1)))
            kkk7 = 1
        Else
            dpar5 = delta * abaix(j1, npos(j1))
        End If
        ocupa = ocup(j1, npos(j1) - 1) + aincree * adalt(npos(j1)) - _
            abaix(j1, npos(j1)) + excess(j1, npos(j1))
        resta1 = aincree * adalt(npos(j1)) + excess(j1, npos(j1))
        If (j1 = nflot) Then
            hz1 = 1
            nrefa = npar * 2
        Else
```

```

    hz1 = j1 + 1
    nrefa = 0
End If
If ocupa > 1 * cap Then
    resta1 = cap - ocup(j1, npos(j1) - 1) + abaix(j1, npos(j1))
    exces1 = ocupa - cap
    If kkk7 = 1 Then
        If resta1 * gamma > delta * abaix(j1, npos(j1)) Then
            dpar5 = resta1 * gamma
        Else
            dpar5 = delta * abaix(j1, npos(j1))
        End If
    Else
        dpar5 = delta * abaix(j1, npos(j1))
    End If
End If
If (npos(j1) = nparpert - 1) And (j1 = nvehpert) Then dpar5 = dpar5 + tpert * 60
aincre1 = t(j2, npos(j2)) - t(j3, npos(j2) - nreff2)
kkk8 = 0
If (gamma * (aincre1 * adalt(npos(j2)) + excess(j2, npos(j2)))) > _
    delta * abaix(j2, npos(j2))) Then
    dpar6 = gamma * (aincre1 * adalt(npos(j2)) + excess(j2, npos(j2)))
    kkk8 = 1
Else
    dpar6 = delta * abaix(j2, npos(j2))
End If
ocupa = ocup(j2, npos(j2) - 1) + aincre1 * adalt(npos(j2)) - _
    abaix(j2, npos(j2)) + excess(j2, npos(j2))
resta2 = aincre1 * adalt(npos(j2)) + excess(j2, npos(j2))

If (j2 = nflot) Then
    hz1 = 1
    nrefa = npar * 2
Else
    hz1 = j2 + 1
    nrefa = 0
End If
If ocupa > 1 * cap Then
    resta2 = cap - ocup(j2, npos(j2) - 1) + abaix(j2, npos(j2))
    exces2 = ocupa - cap
    If kkk8 = 1 Then
        If resta2 * gamma > delta * abaix(j2, npos(j2)) Then
            dpar6 = resta2 * gamma
        Else
            dpar6 = delta * abaix(j2, npos(j2))
        End If
    Else
        dpar6 = delta * abaix(j2, npos(j2))
    End If
End If

If ((npos(j1) - npos(j2) - nreff1) = -1) Then
    If tau(j1, npos(j1) + 1) < (t(j2, npos(j1) - nreff1 + 1) + dpar6) Then
        tau(j1, npos(j1) + 1) = t(j2, npos(j1) - nreff1 + 1) + dpar6
        resta(j) = resta1
    End If
End If

```

```

        excess(j1, npos(j1)) = exces1
    End If
End If
If ((npos(j1) - npos(j2) - nreff1) = 0) Then
    If tau(j1, npos(j1) + 1) < (tau(j2, npos(j1) - nreff1 + 1) + dpar6) Then
        tau(j1, npos(j1) + 1) = tau(j2, npos(j1) - nreff1 + 1) + dpar6
        resta(j) = resta1
        excess(j1, npos(j1)) = exces1
    End If
End If
End If

If j <= nflot + 1 Then
    Write #18, j, npos(j), t(j, npos(j))
End If
Next
If npos(1) = nparamax Then k2 = 1
Loop

tsum = 0
tespe = 0
For i = 1 To ncicle
    For j = 1 To nflot
        For k = 1 To npar - 1
            ttra(j, k + (i - 1) * 2 * npar) = (t(j, k + (i - 1) * 2 * npar + 1) - t(j, k + (i - 1) * 2 * npar) - _
            dpar(j, k + (i - 1) * 2 * npar)) * ocup(j, k + (i - 1) * 2 * npar)
            If (k > 1) Then
                tpara(j, k + (i - 1) * 2 * npar) = dpar(j, k + (i - 1) * 2 * npar) * (ocup(j, k + (i - 1) * 2 * npar - 1) -
                abaix(j, k + (i - 1) * 2 * npar))
            End If
            tsum = ttra(j, k + (i - 1) * 2 * npar) + tsum
            If (i = 1) And (j = 1) Then
                tesper(j, k) = aint * 60 * aint * 60 * adalt(k + (i - 1) * 2 * npar) / 2
            Else
                If (j = 1) Then
                    nabans = nflot
                    nred = npar * 2
                Else
                    nabans = j - 1
                    nred = 0
                End If
                tesper(j, k + (i - 1) * 2 * npar) = (adalt(k + (i - 1) * 2 * npar) / 2 * _
                (t(j, k + (i - 1) * 2 * npar) - t(nabans, k + (i - 1) * 2 * npar - nred)) ^ 2) + excess(j, _
                k + (i - 1) * 2 * npar) * (t(j, k + (i - 1) * 2 * npar) - t(nabans, k + (i - 1) * 2 * npar - nred))
            End If
            tespe = tespe + tesper(j, k + (i - 1) * 2 * npar)
        Next
    Next
    For k = 1 To npar - 1
        ttra(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) = (t(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar + 1) - t(j, k + npar + (i - 1) * 2 *
        npar) - _
        dpar(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar)) * ocup(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar)
        tsum = ttra(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) + tsum
    Next

```



```

    If (k > 1) Then
        tpara(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) = dpar(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) * (ocup(j, k + npar +
(i - 1) * 2 * npar - 1) _
        - abaix(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar))

        Write #15, "ocup(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar - 1)", ocup(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar - 1)
    End If

    If (i = 1) And (j = 1) Then
        tesper(j, k + npar) = aint * 60 * aint * 60 * adalt(k + npar) / 2
    Else
        If (j = 1) Then
            nabans = nflot
            nred = 2 * npar
        Else
            nabans = j - 1
            nred = 0
        End If
        tesper(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) = (adalt(k + npar + (i - 1) * 2 * npar) / 2 * _
        (t(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) - t(nabans, k + npar + (i - 1) * 2 * npar - nred)) ^ 2) + excess(j,
        -
        k + npar + (i - 1) * 2 * npar) * (t(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) - t(nabans, k + npar + (i - 1) * 2 *
npar - nred))
    End If

    tespe = tespe + tesper(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar)
Next
Next
Next

ttrayectos = 0
For i = ((npar * 2) + 1) To nparamax
    j = 1
    While j <= 20
        If t(j, i) <> 0 Then
            ttrajecte(i) = ttrajecte(i) + ttra(j, i)
            tespera(i) = tespera(i) + tesper(j, i)
            tparada(i) = tparada(i) + tpara(j, i)
        End If
        j = j + 1
    Wend
    ttrayectos = ttrayectos + ttrajecte(i)
    tesperas = tesperas + tespera(i)
    tparadas = tparadas + tparada(i)
Next
Ttotal = ((ttrayectos + tparadas) + (tesperas * 2.2)) / 3600

For l = ((npar * 2) + 1) To nparamax
    m = 1
    While m <= 20
        If t(m + 1, l) <> 0 Then
            temp(l) = temp(l) + (t(m + 1, l) - t(m, l))
            marcador1 = m
        End If
        m = m + 1
    
```

```
Wend
temp(l) = temp(l) / marcador1
Next
For i = ((npar * 2) + 1) To nparamax
  If temp(i) > 0 Then
    temps = temps + temp(i)
    marcador2 = i - ((npar * 2))
  End If
Next

Th = temps / marcador2

For l = ((npar * 2) + 1) To nparamax
  m = 1
  While m <= 20
    If t(m + 1, l) <> 0 Then
      hMenoshBarra(l) = hMenoshBarra(l) + (((t(m + 1, l) - t(m, l)) - Th) ^ 2)
      marcador3(l) = m
    End If
    m = m + 1
  Wend
  hMenoshBarras = hMenoshBarras + hMenoshBarra(l)
  marcadores3 = marcadores3 + marcador3(l)
Next
S = (hMenoshBarras / marcadores3) ^ (1 / 2)
Cv = S / Th

Write #18, "tpert"; tpert
Write #18, "alayo"; alayo
Write #18, "nparpert"; nparpert
Write #18, "nvehpert"; nvehpert
Write #18, "api"; api
Write #18, "vel"; vel
Write #18, "ttrajecte(min)"; ttrayectos
Write #18, "tespera (min)"; tesperas
Write #18, "tparada(min)"; tparadas
Write #18, "Ttotal(h)"; Ttotal
Write #18, "TH(h)"; Th
Write #18, "S"; S
Write #18, "Cv"; Cv
Write #18, "nflot"; nflot

Close #18
Close #14
Close #13
Close #15
Close #17
End Sub
```

CODI DEL PROGRAMA PER A LES ESTRATÈGIES S1 I S2

```
Private Sub calcular_Click()
```

```
Open " C:\Documents and Settings\Escritorio\Tesina VB \dades\temps.txt" For Output As #18
```

```
'For tpert = tperta To tpertz
```

```
'Imprimir = 1
```

```
'nvehref = 0
```

```
'abaix(nvehref, npos(nvehref)) = 0
```

```
'npos(nvehref) = 0
```

```
Write #14, "j"; j; "tpert"; tpert; "nflot"; nflot
```

```
Write #15, "j"; j; "tpert"; tpert; "nflot"; nflot
```

```
Write #17, "j"; j; "tpert"; tpert; "nflot"; nflot
```

```
For j = 1 To nflot
```

```
    t(j, 0) = aint * 60 * (j - 1)
```

```
    npos(j) = 0
```

```
    For i = 1 To nparamax
```

```
        t(j, i) = 0
```

```
        taux(j, i) = 0
```

```
    Next
```

```
    taux(j, 1) = aint * 60 * (j - 1)
```

```
    'Write #14, "taux(j, 1)"; taux(j, 1)
```

```
    v(j, 1) = vel
```

```
    delta1(j, 0) = aint * 60
```

```
    delta2(j, 1) = aint * 60
```

```
    ocup(j, 0) = 0
```

```
Next
```

```
k2 = 0
```

```
k3 = 0
```

```
k4 = 0
```

```
Do While k2 = 0
```

```
    tmin = 1000000000
```

```
    k4 = k4 + 1
```

```
'Write #14, "k2 "; k2; "k3 "; k3; "k4 "; k4;
```

```
If k3 = 1 Then
```

```
    For j = 1 To nflot
```

```
        If (tmin > taux(j, npos(j) + 1)) And (taux(j, npos(j) + 1) > 0) Then
```

```
            tmin = taux(j, npos(j) + 1)
```

```
            nvehref = j
```

```
Write #17, "k3", k3, "k2", k2, "k4", k4, "j", j, "taux(j, npos(j) + 1)", (taux(j, (npos(j) + 1)))
```

```
Write #17, "tmin ", tmin
```

```
    End If
```

```
Next
```

```
'fixo temps d'arribada d'autobus
```

```
t(nvehref, npos(nvehref) + 1) = taux(nvehref, npos(nvehref) + 1)
```

```

v(nvehref, npos(nvehref)) = vaux(nvehref, npos(nvehref))
Write #14, "taux(j, npos(j) + 1)", (taux(j, (npos(j) + 1))), "tmin ", tmin, _
"t(nvehref, npos(nvehref) + 1)", (t(nvehref, npos(nvehref) + 1)), "ocup(nvehref,npos(nvehref))", _
(ocup(nvehref, npos(nvehref))), "nvehref", nvehref, "npos(nvehref)", npos(nvehref)

If (npos(nvehref) > 0) Then
ocup(nvehref, npos(nvehref)) = ocup(nvehref, npos(nvehref) - 1) + resta(nvehref) _
- abaix(nvehref, npos(nvehref))

Write #14, "ocup(nvehref, npos(nvehref))", ocup(nvehref, npos(nvehref)), _
"ocup(nvehref, npos(nvehref) - 1)", ocup(nvehref, npos(nvehref) - 1), _
"resta(nvehref)-abaix(nvehref, npos(nvehref))", resta(nvehref) - abaix(nvehref, npos(nvehref)),
_
"resta(nvehref)", (resta(nvehref)), "(abaix(nvehref, npos(nvehref)))", (abaix(nvehref,
npos(nvehref)))

nlim = 0
kola = 0
For kk1 = 1 To ncicle
If (npos(nvehref) <= (kk1 * 2 * npar) - npar) And (npos(nvehref) > (kk1 - 1) * 2 * npar) Then
nlim = (kk1 * 2 * npar) - npar
kola = 1
End If
If (npos(nvehref) < (kk1 * 2 * npar)) And (npos(nvehref) > ((kk1 - 1) * 2 * npar + npar)) Then
nlim = kk1 * 2 * npar
kola = 2
End If
Next
niter = nlim - npos(nvehref)
asum1 = 0
For kh1 = 1 To niter

If kola = 1 Then
abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1) = abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1) + _
(resta(nvehref) * aps(npos(nvehref), npos(nvehref) + kh1) * dtotal1 / 3600 /
adalt(npos(nvehref)))
Else
abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1) = abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1) + _
(resta(nvehref) * aps(npos(nvehref), npos(nvehref) + kh1) * dtotal2 / 3600 /
adalt(npos(nvehref)))
End If
Write #15, "kola"; kola, "kh1", kh1, "abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1)"; _
abaix(nvehref, npos(nvehref) + kh1)
Write #15, "(resta(nvehref) * aps(npos(nvehref), npos(nvehref) + kh1) * dtotal1 / 3600 /
adalt(npos(nvehref)))", _
(resta(nvehref) * aps(npos(nvehref), npos(nvehref) + kh1) * dtotal1 / 3600 /
adalt(npos(nvehref)))

Next
End If
npos(nvehref) = npos(nvehref) + 1
End If

```

```

If k3 = 0 Then
    npos(1) = npos(1) + 1
    t(1, npos(1)) = t(1, 0)
End If

'començo a calcular els intervals de temps entre autobusos
If (k3 = 1) Then
    For j = 1 To nflot
        k5 = 0
        For i = 1 To ncicle * 2
            If npos(j) = i * npar Then k5 = 1
        Next
        If k5 = 0 Then
            'miro interval amb autobus del davant
            If j = 1 Then
                h1 = j
                h2 = nflot
            Else
                h1 = j
                h2 = j - 1
            End If
            nparreh1 = 0
            nparreh2 = 0
            k7 = 0
            For i = 1 To ncicle * 2
                If npos(j) = i * npar Then k7 = 1
            Next
            If ((h2 = nflot) And (npos(h2) >= 1) And (npos(h1) < npar * 2 + 1)) Then
                kj = 1
            Else
                kj = 0
            End If
            If ((npos(h1) > 1) And k7 = 0) Then
                If (npos(h2) > 1) And (npos(h1) <> npar * 2 + 1) And (kj = 0) Then
                    If h1 = 1 Then
                        hh1 = nflot
                        nparreh1 = npar * 2
                    Else
                        hh1 = h1 - 1
                    End If
                    If h2 = 1 Then
                        hh2 = nflot
                        nparreh2 = npar * 2
                    Else
                        hh2 = h2 - 1
                    End If
                    If (npos(hh1) - nparreh1 <= 0) Then
                        deltah1 = aint * 60
                    Else
                        deltah1 = t(h1, npos(h1)) - t(hh1, npos(h1) - nparreh1)
                    End If
                    If (npos(hh2) - nparreh1 - nparreh2 <= 0) Then

```

```
deltah2 = aint * 60
Else
    deltax2 = t(h2, npos(h1) - nparreh1) - t(hh2, npos(h1) - nparreh1 - _
        - nparreh2)
End If

demsh1i1 = deltah1 * adalt(npos(h1)) + excess(h1, npos(h1))
dembh1i1 = abaix(h1, npos(h1))
demsh2i1 = deltah2 * adalt(npos(h1) - nparreh1) + excess(h2, npos(h1) - nparreh1)
dembh2i1 = abaix(h2, npos(h1) - nparreh1)
kkk1 = 0
kkk2 = 0
If (gamma * demsh1i1 > delta * dembh1i1) Then
    dpar1 = gamma * demsh1i1
    kkk1 = 1
Else
    dpar1 = delta * dembh1i1
End If
If (gamma * demsh2i1 > delta * dembh2i1) Then
    dpar2 = gamma * demsh2i1
    kkk2 = 1
Else
    dpar2 = delta * dembh2i1
End If
ocupah1 = ocup(h1, npos(h1) - 1) + deltah1 * adalt(npos(h1)) - _
    abaix(h1, npos(h1)) + excess(h1, npos(h1))

ocupah2 = ocup(h2, npos(h1) - 1 - nparreh1) + deltah2 * adalt( _
    npos(h1) - nparreh1) - abaix(h2, npos(h1) - nparreh1) + excess(h2, npos(h1) - nparreh1)

If ocupah1 > 1 * cap Then
    restah1 = cap - ocup(h1, npos(h1) - 1) + abaix(h1, npos(h1))
    If kkk1 = 1 Then
        If restah1 * gamma > delta * abaix(h1, npos(h1)) Then
            dpar1 = restah1 * gamma
        Else
            dpar1 = delta * abaix(h1, npos(h1))
        End If
    Else
        dpar1 = delta * abaix(h1, npos(h1))
    End If
End If
If ocupah2 > 1 * cap Then
    restah2 = cap - ocup(h2, npos(h1) - 1 - nparreh1) + abaix(h2, npos(h1) - nparreh1)
    If kkk2 = 1 Then
        If restah2 * gamma > delta * abaix(h2, npos(h1) - nparreh1) Then
            dpar2 = restah2 * gamma
        Else
            dpar2 = delta * abaix(h2, npos(h1) - nparreh1)
        End If
    Else
        dpar2 = delta * abaix(h2, npos(h1) - nparreh1)
    End If
End If
```

```

    End If
End If
delta1(h1, npos(h1)) = t(h1, npos(h1)) - t(h2, npos(h1) - nparreh1) _
+ dpar1 - dpar2
Else
    delta1(h1, npos(h1)) = aint * 60
End If
End If
'miro interval amb autobús del darrera
nparrei3 = 0
nparrei4 = 0
If j = nflot Then
    i1 = 1
    i2 = j
Else
    i1 = j + 1
    i2 = j
End If
k8 = 0
k7 = 0
For i = 0 To ncicle * 2
    If npos(j) = i * npar + 1 Then k7 = 1
Next
If ((i2 = nflot) And (npos(i2) >= 1) And (npos(i1) < npar * 2 + 1)) Then
    kjj = 1
Else
    kjj = 0
End If

If ((npos(i1) > 0) And (npos(i2) > 0) And (k7 = 0) And (kjj = 0)) Then
    If i2 = 1 Then
        ii2 = nflot
        nparrei3 = npar * 2
    Else
        ii2 = i2 - 1
    End If
    If i1 = 1 Then
        ii1 = nflot
        nparrei4 = npar * 2
        If npos(i1) <= npar * 2 Then k8 = 1
    Else
        ii1 = i1 - 1
    End If
    If ((npos(ii1) > 0) And (npos(ii2) - nparrei3 > 0) And (k8 = 0)) Then
        delta2 = t(i2, npos(i1) - nparrei4) - t(ii2, npos(i1) - nparrei3 - nparrei4)
        delta1 = t(i1, npos(i1)) - t(ii1, npos(i1) - nparrei4)
    Else
        delta2 = aint * 60
        delta1 = aint * 60
    End If
    demsi2i1 = delta2 * adalt(npos(i1) - nparrei4) + excess(i2, npos(i1) - nparrei4)
    dembi2i1 = abaix(i2, npos(i1) - nparrei4)

```

```
demsi1i1 = deltai1 * adalt(npos(i1)) + excess(i1, npos(i1))
dembi1i1 = abaix(i1, npos(i1))
kkk3 = 0
kkk4 = 0
If (gamma * demsi2i1 > delta * dembi2i1) Then
    dpar3 = gamma * demsi2i1
    kkk3 = 1
Else
    dpar3 = delta * dembi2i1
End If
If (gamma * demsi1i1 > delta * dembi1i1) Then
    dpar4 = gamma * demsi1i1
    kkk4 = 1
Else
    dpar4 = delta * dembi1i1
End If
If (i2 = nflot) And (npos(1) < npar * 2 + 1) Then
    ocupai2 = 0
Else
    ocupai2 = ocup(i2, npos(i1) - 1 - nparrei4) + deltai2 * adalt(npos(i1) - nparrei4) - _
    abaix(i2, npos(i1) - nparrei4) + excess(i2, npos(i1) - nparrei4)
End If
ocupai1 = ocup(i1, npos(i1) - 1) + deltai1 * adalt( _
npos(i1)) - abaix(i1, npos(i1)) + excess(i1, npos(i1))

If ocupai2 > 1 * cap Then
    restai2 = cap - ocup(i2, npos(i1) - 1 - nparrei4) + abaix(i1, npos(i1) - nparrei4)
    If kkk3 = 1 Then
        If restai2 * gamma > delta * abaix(i2, npos(i1) - nparrei4) Then
            dpar3 = restai2 * gamma
        Else
            dpar3 = delta * abaix(i2, npos(i1) - nparrei4)
        End If
    Else
        dpar3 = delta * abaix(i2, npos(i1) - nparrei4)
    End If
End If
If ocupai1 > 1 * cap Then
    restai1 = cap - ocup(i1, npos(i1) - 1) + abaix(i1, npos(i1))
    If kkk4 = 1 Then
        If restai1 * gamma > delta * abaix(i1, npos(i1)) Then
            dpar4 = restai1 * gamma
        Else
            dpar4 = delta * abaix(i1, npos(i1))
        End If
    Else
        dpar4 = delta * abaix(i1, npos(i1))
    End If
End If

If k8 = 0 Then
    delta2(i2, npos(i1)) = -(t(i2, npos(i1) - nparrei4) + dpar3) _
```



```

    + (t(i1, npos(i1)) + dpar4)
Else
    delta2(i2, npos(i2) - 1) = aint * 60
End If
Else
    delta2(i2, npos(i1) - nparrei4) = aint * 60
End If
dd1 = delta1(h1, npos(h1))
If k8 = 0 Then
    dd2 = delta2(i2, npos(i1) - nparrei4)
Else
    dd2 = delta2(i2, npos(i2) - 1)
End If
If (kjj = 1) Then dd2 = aint * 60

'miro quin interval és major
vaux(j, npos(j)) = vel
daux2 = dd2 - aint * 60
daux1 = dd1 - aint * 60
If daux2 < 0 Then daux2 = daux2 * -1
If daux1 < 0 Then daux1 = daux1 * -1

If ((daux2 > daux1) And (dd2 > (aint * 60 + tverd))) Then
    vaux(i2, npos(i2)) = apar / ((apar / vel) + daux2 * api)
End If
If ((daux2 > daux1) And (dd2 < (aint * 60 + tverd))) Then
    vaux(i2, npos(i2)) = apar / ((apar / vel) - daux2 * api)
End If
nvaria(j) = 0
If ((daux1 > daux2) And (dd1 > (aint * 60 + tverd))) Then
    vaux(h1, npos(h1)) = vel
    If kdiscre = 1 Then
        nvaria(j) = 1
    End If
End If

End If
Next
End If

k3 = 1
For j = 1 To nflot
    k5 = 0
    For i = 1 To ncicle * 2
        If (npos(j) = i * npar) Then k5 = 1
    Next
    If ((npos(j) > 0) And (k5 = 0)) Then
        nparrefu = 0
        If j = 1 Then
            jj1 = nflot
            nparrefu = npar * 2
        Else

```

```
    jj1 = j - 1
End If
If ((npos(jj1) = 0) Or (npos(1) <= npar * 2)) Then
    aincres = aint * 60
    vaux(j, npos(j)) = vel
Else
    aincres = t(j, npos(j)) - t(jj1, npos(j)) - nparrefu
End If

kkk5 = 0
If (gamma * (aincres * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j))) > delta * abaix _
(j, npos(j))) Then
    dpar5 = gamma * (aincres * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j)))
    kkk5 = 1
Else
    dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
End If
ocupa = ocup(j, npos(j) - 1) + aincres * adalt(npos(j)) - _
abaix(j, npos(j)) + excess(j, npos(j))
resta(j) = aincres * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j))
If (j = nflot) Then
    j1 = 1
    nrefa = npar * 2
Else
    j1 = j + 1
    nrefa = 0
End If

If ocupa > 1 * cap Then
    resta(j) = cap - ocup(j, npos(j) - 1) + abaix(j, npos(j))
    excess(j1, npos(j) + nrefa) = ocupa - cap
    If kkk5 = 1 Then
        If resta(j) * gamma > delta * abaix(j, npos(j)) Then
            dpar5 = resta(j) * gamma
        Else
            dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
        End If
    Else
        dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
    End If
End If
If (npos(j) = nparpert - 1) And (j = nvehpert) Then dpar5 = dpar5 + tpert * 60
tsortida = t(j, npos(j)) + dpar5
dpar(j, npos(j)) = dpar5

For ka = 1 To ncicle
    If ((ka * 2 * npar) >= npos(j)) And (((ka - 1) * 2 * npar) < npos(j)) Then
        ntraj1 = npos(j) - (ka - 1) * 2 * npar
    End If
Next
```

```

For kg = 1 To numint(ntraj1, 2)
  If kg = 1 Then
    atemps = tsortida + (xinters(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) - xpar(ntraj1)) / vaux(j, npos(j))
    nent = atemps \ tciclesem - 1
    For k = 1 To 20
      If (verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem < atemps) And (verd(numint(ntraj1, 1))
+ (nent + k - 1) _
      * tciclesem + tverd + tsalt * nvaria(j) >= atemps) Then
        atemps1 = atemps
        If (verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem >= atemps) Or (verd(numint(ntraj1,
1)) + (nent + k - 1) _
        * tciclesem + tverd < atemps) Then
          estalvi(j, npos(j)) = (verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k) * tciclesem) - atemps
        End If
      End If
      If (verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem + tverd + tsalt * nvaria(j) < atemps) And
(verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k) _
      * tciclesem >= atemps) Then
        atemps1 = verd(numint(ntraj1, 1)) + (nent + k) * tciclesem
      End If
    Next
  Else
    atemps = atemps1 + (xinters(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) - _
xinters(numint(ntraj1, 1) + (kg - 2))) / vaux(j, npos(j))
    nent = atemps \ tciclesem - 1
    For k = 1 To 20
      If (verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem < atemps) And
(verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k - 1) _
      * tciclesem + tverd + tsalt * nvaria(j) >= atemps) Then
        atemps1 = atemps
        If (verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem >= atemps) Or
(verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k - 1) _
        * tciclesem + tverd < atemps) Then
          estalvi(j, npos(j)) = (verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k) * tciclesem) - atemps
        End If
      End If
      If (verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k - 1) * tciclesem + tverd + tsalt * nvaria(j) <
atemps) And (verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k) _
      * tciclesem >= atemps) Then
        atemps1 = verd(numint(ntraj1, 1) + (kg - 1)) + (nent + k) * tciclesem
      End If
    Next
  End If
  Next
  atemps1 = atemps1 + (xpar(ntraj1 + 1) - xinters(numint(ntraj1, 1) + numint(ntraj1, 2) - 1)) / _
vaux(j, npos(j))
  taux(j, npos(j) + 1) = atemps1

End If
If ((k5 = 1) And (npos(j) > 0)) Then
  nparef1 = 0
  k66 = 0

```

```
If j = 1 Then
    hh1 = nflot
    nparef1 = npar * 2
    If (npos(1) < npar * 2) Then
        resta(j) = adalt(npos(j)) * aint * 60
        k66 = 1
    End If
Else
    hh1 = j - 1
End If

If k66 = 0 Then
    kkk6 = 0
    tentra = taux(hh1, npos(j) + 1 - nparef1) + aint * 60
    deltaa = t(j, npos(j)) - t(hh1, npos(j) - nparef1)
    If (gamma * (deltaa * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j))) > _
        delta * abaix(j, npos(j))) Then
        dpar5 = gamma * (deltaa * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j)))
        kkk6 = 1
    Else
        dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
    End If
    ocupa = ocup(j, npos(j) - 1) + deltaa * adalt(npos(j)) - _
        abaix(j, npos(j)) + excess(j, npos(j))
    resta(j) = deltaa * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j))
    If (j = nflot) Then
        j1 = 1
        nrefa = npar * 2
    Else
        j1 = j + 1
        nrefa = 0
    End If
    If ocupa > 1 * cap Then
        resta(j) = cap - ocup(j, npos(j) - 1) + abaix(j, npos(j))
        excess(j1, npos(j) + nrefa) = ocupa - cap
        If kkk6 = 1 Then
            If resta(j) * gamma > delta * abaix(j, npos(j)) Then
                dpar5 = resta(j) * gamma
            Else
                dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
            End If
        Else
            dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
        End If
    End If

    tdesc = tentra - (t(j, npos(j)) + dpar5 + tdescmin * 60)
    If tdesc < 0 Then
        tentra = t(j, npos(j)) + dpar5 + tdescmin * 60
    End If

Else
```

```

If (gamma * (aint * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j))) > _
delta * abaix(j, npos(j))) Then
  dpar5 = gamma * (aint * 60 * adalt(npos(j)) + excess(j, npos(j)))
Else
  dpar5 = delta * abaix(j, npos(j))
End If

```

```

tentra = t(j, npos(j)) + dpar5 + TLAYOMIG

```

```

End If
taux(j, npos(j) + 1) = tentra
Write #17, "taux(j, npos(j) + 1)final", taux(j, npos(j) + 1)
vaux(j, npos(j)) = 0
dpar(j, npos(j)) = dpar5
End If

```

```

Write #13, j, npos(j), atemps1

```

```

Next
nreff1 = 0
nreff2 = 0
For j = 1 To nflot * 2
  If j > nflot Then
    j1 = j - nflot
  Else
    j1 = j
  End If
  If j1 = 1 Then
    j2 = nflot
    nreff1 = npar * 2
  Else
    j2 = j1 - 1
    nreff1 = 0
  End If
  If j2 = 1 Then
    j3 = nflot
    nreff2 = npar * 2
  Else
    j3 = j2 - 1
    nreff2 = 0
  End If
  kkk7 = 0
  If npos(1) > npar * 2 Then
    aindre = t(j1, npos(j1)) - t(j2, npos(j1) - nreff1)
    If (gamma * (aindre * adalt(npos(j1)) + excess(j1, npos(j1))) > _
delta * abaix(j1, npos(j1))) Then
      dpar5 = gamma * (aindre * adalt(npos(j1)) + excess(j1, npos(j1)))
      kkk7 = 1
    Else
      dpar5 = delta * abaix(j1, npos(j1))
    End If
    ocupa = ocup(j1, npos(j1) - 1) + aindre * adalt(npos(j1)) - _

```

```
abaix(j1, npos(j1)) + excess(j1, npos(j1))
resta1 = aincre * adalt(npos(j1)) + excess(j1, npos(j1))
If (j1 = nflot) Then
    hz1 = 1
    nrefa = npar * 2
Else
    hz1 = j1 + 1
    nrefa = 0
End If
If ocupa > 1 * cap Then
    resta1 = cap - ocup(j1, npos(j1) - 1) + abaix(j1, npos(j1))
    exces1 = ocupa - cap
    If kkk7 = 1 Then
        If resta1 * gamma > delta * abaix(j1, npos(j1)) Then
            dpar5 = resta1 * gamma
        Else
            dpar5 = delta * abaix(j1, npos(j1))
        End If
    Else
        dpar5 = delta * abaix(j1, npos(j1))
    End If
End If
If (npos(j1) = nparpert - 1) And (j1 = nvehpert) Then dpar5 = dpar5 + tpert * 60
aincre1 = t(j2, npos(j2)) - t(j3, npos(j2) - nreff2)
kkk8 = 0
If (gamma * (aincre1 * adalt(npos(j2)) + excess(j2, npos(j2)))) > _
    delta * abaix(j2, npos(j2))) Then
    dpar6 = gamma * (aincre1 * adalt(npos(j2)) + excess(j2, npos(j2)))
    kkk8 = 1
Else
    dpar6 = delta * abaix(j2, npos(j2))
End If
ocupa = ocup(j2, npos(j2) - 1) + aincre1 * adalt(npos(j2)) - _
    abaix(j2, npos(j2)) + excess(j2, npos(j2))
resta2 = aincre1 * adalt(npos(j2)) + excess(j2, npos(j2))

If (j2 = nflot) Then
    hz1 = 1
    nrefa = npar * 2
Else
    hz1 = j2 + 1
    nrefa = 0
End If
If ocupa > 1 * cap Then
    resta2 = cap - ocup(j2, npos(j2) - 1) + abaix(j2, npos(j2))
    exces2 = ocupa - cap
    If kkk8 = 1 Then
        If resta2 * gamma > delta * abaix(j2, npos(j2)) Then
            dpar6 = resta2 * gamma
        Else
            dpar6 = delta * abaix(j2, npos(j2))
        End If
    End If
```

```

Else
    dpar6 = delta * abaix(j2, npos(j2))
End If
End If

If ((npos(j1) - npos(j2) - nreff1) = -1) Then
    If tau(j1, npos(j1) + 1) < (t(j2, npos(j1) - nreff1 + 1) + dpar6) Then
        tau(j1, npos(j1) + 1) = t(j2, npos(j1) - nreff1 + 1) + dpar6
        vaux(j1, npos(j1)) = apar / ((tau(j1, npos(j1) + 1) + dpar6) -
        - (t(j1, npos(j1)) + dpar5))
        resta(j) = resta1
        excess(j1, npos(j1)) = exces1
    End If
End If
If ((npos(j1) - npos(j2) - nreff1) = 0) Then
    If tau(j1, npos(j1) + 1) < (tau(j2, npos(j1) - nreff1 + 1) + dpar6) Then
        tau(j1, npos(j1) + 1) = tau(j2, npos(j1) - nreff1 + 1) + dpar6
        vaux(j1, npos(j1)) = apar / ((tau(j1, npos(j1) + 1) + dpar6) -
        - (t(j1, npos(j1)) + dpar5))
        resta(j) = resta1
        excess(j1, npos(j1)) = exces1
    End If
End If
End If
If j <= nflot + 1 Then
    Write #18, j, npos(j), t(j, npos(j))
End If
Next
If npos(1) = nparamax Then k2 = 1

Loop

tsum = 0
tespe = 0
For i = 1 To ncicle
    For j = 1 To nflot
        For k = 1 To npar - 1
            ttra(j, k + (i - 1) * 2 * npar) = (t(j, k + (i - 1) * 2 * npar + 1) - t(j, k + (i - 1) * 2 * npar) -
            dpar(j, k + (i - 1) * 2 * npar)) * ocup(j, k + (i - 1) * 2 * npar)
            If (k > 1) Then
                tpara(j, k + (i - 1) * 2 * npar) = dpar(j, k + (i - 1) * 2 * npar) * (ocup(j, k + (i - 1) * 2 * npar - 1) -
                abaix(j, k + (i - 1) * 2 * npar))
            End If
            tsum = ttra(j, k + (i - 1) * 2 * npar) + tsum
            If (i = 1) And (j = 1) Then
                tesper(j, k) = aint * 60 * aint * 60 * adalt(k + (i - 1) * 2 * npar) / 2
            Else
                If (j = 1) Then
                    nabans = nflot
                    nred = npar * 2
                Else
                    nabans = j - 1
                End If
            End If
        Next k
    Next j
Next i

```

```

    nred = 0
End If
tesper(j, k + (i - 1) * 2 * npar) = (adalt(k + (i - 1) * 2 * npar) / 2 * _
(t(j, k + (i - 1) * 2 * npar) - t(nabans, k + (i - 1) * 2 * npar - nred)) ^ 2) + excess(j, _
k + (i - 1) * 2 * npar) * (t(j, k + (i - 1) * 2 * npar) - t(nabans, k + (i - 1) * 2 * npar - nred))
End If
tespe = tespe + tesper(j, k + (i - 1) * 2 * npar)

Next
For k = 1 To npar - 1
    ttra(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) = (t(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar + 1) - t(j, k + npar + (i - 1) * 2
* npar) - _
dpar(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar)) * ocup(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar)
    tsum = ttra(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) + tsum
    If (k > 1) Then
        tpara(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) = dpar(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) * (ocup(j, k + npar +
(i - 1) * 2 * npar - 1) _
- abaix(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar))

        Write #15, "ocup(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar - 1)", ocup(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar - 1)
    End If

    If (i = 1) And (j = 1) Then
        tesper(j, k + npar) = aint * 60 * aint * 60 * adalt(k + npar) / 2
    Else
        If (j = 1) Then
            nabans = nflot
            nred = 2 * npar
        Else
            nabans = j - 1
            nred = 0
        End If
        tesper(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) = (adalt(k + npar + (i - 1) * 2 * npar) / 2 * _
(t(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) - t(nabans, k + npar + (i - 1) * 2 * npar - nred)) ^ 2) + excess(j, _
k + npar + (i - 1) * 2 * npar) * (t(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar) - t(nabans, k + npar + (i - 1) * 2 *
npar - nred))
    End If

    tespe = tespe + tesper(j, k + npar + (i - 1) * 2 * npar)
Next
Next
Next

ttrayectos = 0
For i = ((npar * 2) + 1) To nparamax

    j = 1
    While j <= 20
        If t(j, i) <> 0 Then
            ttrajecte(i) = ttrajecte(i) + ttra(j, i)
            tespera(i) = tespera(i) + tesper(j, i)
            tparada(i) = tparada(i) + tpara(j, i)
        End If
        j = j + 1
    End While

```



```
End If
j = j + 1
Wend

ttrayectos = ttrayectos + ttrajecte(i)
tesperas = tesperas + tespera(i)
tparadas = tparadas + tparada(i)

Next

Ttotal = ((ttrayectos + tparadas) + (tesperas * 2.2)) / 3600

For l = ((npar * 2) + 1) To nparamax
    m = 1
    While m <= 20
        If t(m + 1, l) <> 0 Then
            temp(l) = temp(l) + (t(m + 1, l) - t(m, l))
            marcador1 = m
        End If
        m = m + 1
    Wend
    temp(l) = temp(l) / marcador1
Next

For i = ((npar * 2) + 1) To nparamax

    If temp(i) > 0 Then
        temps = temps + temp(i)
        marcador2 = i - ((npar * 2))
    End If
Next

Th = temps / marcador2

For l = ((npar * 2) + 1) To nparamax
    m = 1
    While m <= 20
        If t(m + 1, l) <> 0 Then
            hMenoshBarra(l) = hMenoshBarra(l) + (((t(m + 1, l) - t(m, l)) - Th) ^ 2)
            marcador3(l) = m
        End If
        m = m + 1
    Wend
    hMenoshBarras = hMenoshBarras + hMenoshBarra(l)
    marcadores3 = marcadores3 + marcador3(l)
Next
S = (hMenoshBarras / marcadores3) ^ (1 / 2)
Cv = S / Th
```

```
Write #18, "tpert"; tpert
Write #18, "alayo"; alayo
Write #18, "nparpert"; nparpert
Write #18, "nvehpert"; nvehpert
Write #18, "api"; api
Write #18, "vel"; vel
Write #18, "ttrajecte(min)"; ttrayectos
Write #18, "tespera (min)"; tesperas
Write #18, "tparada(min)"; tparadas
Write #18, "Ttotal(h)"; Ttotal
Write #18, "TH(h)"; Th
Write #18, "S"; S
Write #18, "Cv"; Cv
Write #18, "nflot"; nflot
```

```
Close #18
```

```
Close #14
Close #13
Close #15
Close #17
End Sub
```

ANNEX 2. DADES OBTINGUDES EN CADA SIMULACIÓ

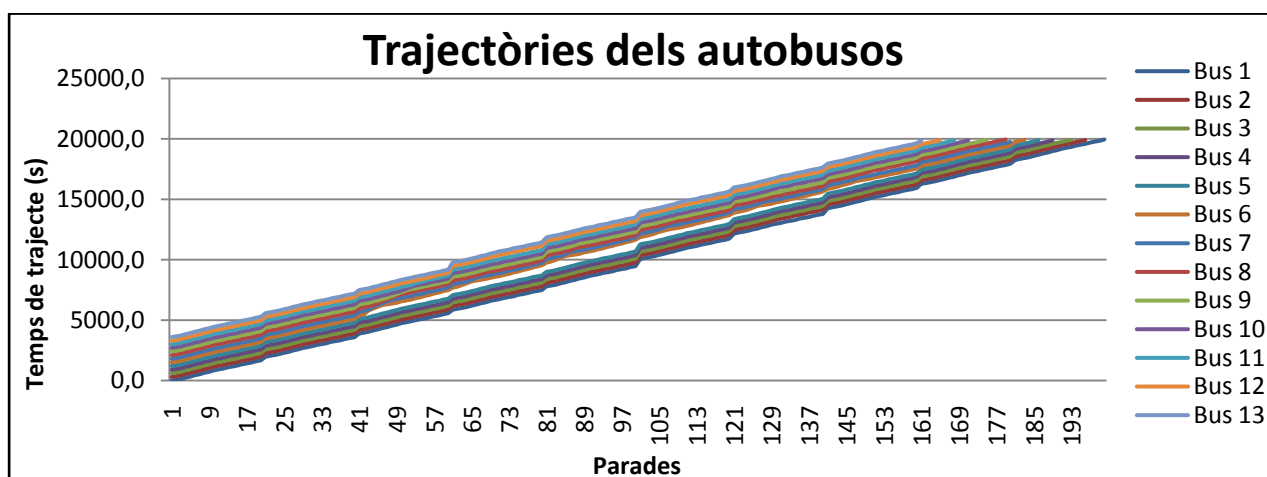
EXEMPLE DE RESUM DE DADES QUE S'OBTÉNEEN A PARTIR DE CADASCUNA DE LES SIMULACIONS REALITZADES

Estratègia S0 amb pertorbació a la parada 43 de 4 minuts i SL de 4,5 minuts

Taula resum de resultats totals de la línia

Temps Pertorbació	4
Temps de marge (ST)	4,5
Nº parada pertorbació	43
Nº vehicle pertorbació	6
fa	0,05
Velocitat	6
Temps trajecte	5044365,12
Temps espera	3129125,28
Temps parades	1693191,74
Temps total (h)	3783,79
TH (h)	314,45
S	104,51
Cv	0,332
Nº vehicles necessaris	13

Gràfica de trajectòries dels autobusos



Matriu de temps per a cada parada i cada bus

Par.	Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6	Bus 7	Bus 8	Bus 9	Bus 10	Bus 11	Bus 12	Bus 13
1	0,0	300,0	600,0	900,0	1200,0	1500,0	1800,0	2100,0	2400,0	2700,0	3000,0	3300,0	3600,0
2	64,9	364,9	664,9	964,9	1264,9	1564,9	1864,9	2164,9	2464,9	2764,9	3064,9	3364,9	3664,9
3	134,0	434,0	734,0	1034,0	1334,0	1634,0	1934,0	2234,0	2534,0	2834,0	3134,0	3434,0	3734,0
4	250,0	550,0	850,0	1150,0	1450,0	1750,0	2050,0	2350,0	2650,0	2950,0	3250,0	3550,0	3850,0
5	332,7	632,7	932,7	1232,7	1532,7	1832,7	2132,7	2432,7	2732,7	3032,7	3332,7	3632,7	3932,7
6	450,0	750,0	1050,0	1350,0	1650,0	1950,0	2250,0	2550,0	2850,0	3150,0	3450,0	3750,0	4050,0
7	529,8	829,8	1129,8	1429,8	1729,8	2029,8	2329,8	2629,8	2929,8	3229,8	3529,8	3829,8	4129,8
8	650,0	950,0	1250,0	1550,0	1850,0	2150,0	2450,0	2750,0	3050,0	3350,0	3650,0	3950,0	4250,0
9	729,1	1029,1	1329,1	1629,1	1929,1	2229,1	2529,1	2829,1	3129,1	3429,1	3729,1	4029,1	4329,1
10	850,0	1150,0	1450,0	1750,0	2050,0	2350,0	2650,0	2950,0	3250,0	3550,0	3850,0	4150,0	4450,0
11	925,1	1225,1	1525,1	1825,1	2125,1	2425,1	2725,1	3025,1	3325,1	3625,1	3925,1	4225,1	4525,1
12	997,9	1297,9	1597,9	1897,9	2197,9	2497,9	2797,9	3097,9	3397,9	3697,9	3997,9	4297,9	4597,9
13	1100,0	1400,0	1700,0	2000,0	2300,0	2600,0	2900,0	3200,0	3500,0	3800,0	4100,0	4400,0	4700,0
14	1169,4	1469,4	1769,4	2069,4	2369,4	2669,4	2969,4	3269,4	3569,4	3869,4	4169,4	4469,4	4769,4
15	1238,8	1538,8	1838,8	2138,8	2438,8	2738,8	3038,8	3338,8	3638,8	3938,8	4238,8	4538,8	4838,8
16	1350,0	1650,0	1950,0	2250,0	2550,0	2850,0	3150,0	3450,0	3750,0	4050,0	4350,0	4650,0	4950,0
17	1421,4	1721,4	2021,4	2321,4	2621,4	2921,4	3221,4	3521,4	3821,4	4121,4	4421,4	4721,4	5021,4
18	1492,7	1792,7	2092,7	2392,7	2692,7	2992,7	3292,7	3592,7	3892,7	4192,7	4492,7	4792,7	5092,7
19	1600,0	1900,0	2200,0	2500,0	2800,0	3100,0	3400,0	3700,0	4000,0	4300,0	4600,0	4900,0	5200,0
20	1671,6	1971,6	2271,6	2571,6	2871,6	3171,6	3471,6	3771,6	4071,6	4371,6	4671,6	4971,6	5271,6
21	1968,8	2268,8	2568,8	2868,8	3168,8	3468,8	3768,8	4068,8	4368,8	4668,8	4968,8	5268,8	5568,8
22	2050,0	2350,0	2650,0	2950,0	3250,0	3550,0	3850,0	4150,0	4450,0	4750,0	5050,0	5350,0	5650,0
23	2119,2	2419,2	2719,2	3019,2	3319,2	3619,2	3919,2	4219,2	4519,2	4819,2	5119,2	5419,2	5719,2
24	2197,3	2497,3	2797,3	3097,3	3397,3	3697,3	3997,3	4297,3	4597,3	4897,3	5197,3	5497,3	5797,3
25	2300,0	2600,0	2900,0	3200,0	3500,0	3800,0	4100,0	4400,0	4700,0	5000,0	5300,0	5600,0	5900,0
26	2387,0	2687,0	2987,0	3287,0	3587,0	3887,0	4187,0	4487,0	4787,0	5087,0	5387,0	5687,0	5987,0
27	2500,0	2800,0	3100,0	3400,0	3700,0	4000,0	4300,0	4600,0	4900,0	5200,0	5500,0	5800,0	6100,0
28	2578,4	2878,4	3178,4	3478,4	3778,4	4078,4	4378,4	4678,4	4978,4	5278,4	5578,4	5878,4	6178,4
29	2700,0	3000,0	3300,0	3600,0	3900,0	4200,0	4500,0	4800,0	5100,0	5400,0	5700,0	6000,0	6300,0
30	2774,1	3074,1	3374,1	3674,1	3974,1	4274,1	4574,1	4874,1	5174,1	5474,1	5774,1	6074,1	6374,1
31	2849,2	3149,2	3449,2	3749,2	4049,2	4349,2	4649,2	4949,2	5249,2	5549,2	5849,2	6149,2	6449,2
32	2950,0	3250,0	3550,0	3850,0	4150,0	4450,0	4750,0	5050,0	5350,0	5650,0	5950,0	6250,0	6550,0
33	3016,5	3316,5	3616,5	3916,5	4216,5	4516,5	4816,5	5116,5	5416,5	5716,5	6016,5	6316,5	6616,5
34	3085,9	3385,9	3685,9	3985,9	4285,9	4585,9	4885,9	5185,9	5485,9	5785,9	6085,9	6385,9	6685,9
35	3200,0	3500,0	3800,0	4100,0	4400,0	4700,0	5000,0	5300,0	5600,0	5900,0	6200,0	6500,0	6800,0
36	3271,2	3571,2	3871,2	4171,2	4471,2	4771,2	5071,2	5371,2	5671,2	5971,2	6271,2	6571,2	6871,2
37	3342,5	3642,5	3942,5	4242,5	4542,5	4842,5	5142,5	5442,5	5742,5	6042,5	6342,5	6642,5	6942,5
38	3450,0	3750,0	4050,0	4350,0	4650,0	4950,0	5250,0	5550,0	5850,0	6150,0	6450,0	6750,0	7050,0
39	3521,8	3821,8	4121,8	4421,8	4721,8	5021,8	5321,8	5621,8	5921,8	6221,8	6521,8	6821,8	7121,8
40	3593,4	3893,4	4193,4	4493,4	4793,4	5093,4	5393,4	5693,4	5993,4	6293,4	6593,4	6893,4	7193,4
41	3900,0	4200,0	4500,0	4800,0	5100,0	5400,0	5700,0	6000,0	6300,0	6600,0	6900,0	7200,0	7500,0
42	3964,9	4264,9	4564,9	4864,9	5164,9	5464,9	5764,9	6064,9	6364,9	6664,9	6964,9	7264,9	7564,9
43	4034,0	4334,0	4634,0	4934,0	5234,0	5800,0	5853,0	6134,0	6434,0	6734,0	7034,0	7334,0	7634,0

44	4150,0	4450,0	4750,0	5050,0	5350,0	5950,0	6100,0	6250,0	6550,0	6850,0	7150,0	7450,0	7750,0
45	4232,7	4532,7	4832,7	5132,7	5432,7	6100,0	6250,0	6400,0	6632,7	6932,7	7232,7	7532,7	7832,7
46	4350,0	4650,0	4950,0	5250,0	5550,0	6250,0	6400,0	6550,0	6750,0	7050,0	7350,0	7650,0	7950,0
47	4429,8	4729,8	5029,8	5329,8	5629,8	6307,8	6550,0	6700,0	6850,0	7129,8	7429,8	7729,8	8029,8
48	4550,0	4850,0	5150,0	5450,0	5750,0	6369,2	6675,8	6850,0	7000,0	7250,0	7550,0	7850,0	8150,0
49	4629,1	4929,1	5229,1	5529,1	5829,1	6433,7	6744,8	7000,0	7150,0	7324,2	7629,1	7929,1	8229,1
50	4750,0	5050,0	5350,0	5650,0	5950,0	6550,0	6850,0	7150,0	7300,0	7450,0	7750,0	8050,0	8350,0
51	4825,1	5125,1	5425,1	5725,1	6025,1	6620,0	6914,6	7214,2	7450,0	7600,0	7825,1	8125,1	8425,1
52	4897,9	5197,9	5497,9	5797,9	6097,9	6698,0	6985,7	7287,3	7550,0	7750,0	7900,0	8197,9	8497,9
53	5000,0	5300,0	5600,0	5900,0	6200,0	6800,0	7100,0	7400,0	7614,5	7850,0	8050,0	8300,0	8600,0
54	5069,4	5369,4	5669,4	5969,4	6269,4	6878,4	7169,6	7469,4	7700,0	7950,0	8150,0	8369,4	8669,4
55	5138,8	5438,8	5738,8	6038,8	6338,8	7000,0	7239,8	7539,5	7800,0	8015,7	8250,0	8450,0	8738,8
56	5250,0	5550,0	5850,0	6150,0	6450,0	7074,4	7350,0	7650,0	7871,7	8100,0	8350,0	8550,0	8850,0
57	5321,4	5621,4	5921,4	6221,4	6521,4	7200,0	7423,5	7723,1	7950,0	8200,0	8418,9	8650,0	8921,4
58	5392,7	5692,7	5992,7	6292,7	6592,7	7277,7	7500,0	7796,8	8050,0	8266,7	8500,0	8750,0	8992,7
59	5500,0	5800,0	6100,0	6400,0	6700,0	7400,0	7600,0	7900,0	8121,1	8350,0	8600,0	8820,2	9100,0
60	5571,6	5871,6	6171,6	6471,6	6771,6	7480,0	7700,0	7972,5	8200,0	8450,0	8668,3	8900,0	9171,5
61	5868,8	6168,8	6468,8	6768,8	7068,8	7686,7	7986,7	8286,7	8586,7	8886,7	9186,7	9486,7	9786,7
62	5950,0	6250,0	6550,0	6850,0	7150,0	7767,3	8051,6	8351,6	8651,6	8951,6	9251,6	9551,6	9851,6
63	6019,2	6319,2	6619,2	6919,2	7219,2	7900,0	8119,7	8420,7	8720,7	9020,7	9320,7	9620,7	9920,7
64	6097,3	6397,3	6697,3	6997,3	7297,3	8050,0	8200,0	8498,9	8798,8	9098,8	9398,8	9698,8	9998,8
65	6200,0	6500,0	6800,0	7100,0	7400,0	8200,0	8350,0	8600,0	8900,0	9200,0	9500,0	9800,0	10100,0
66	6287,0	6587,0	6887,0	7187,0	7487,0	8274,5	8500,0	8680,9	8987,0	9287,0	9587,0	9887,0	10187,0
67	6400,0	6700,0	7000,0	7300,0	7600,0	8335,0	8623,4	8800,0	9100,0	9400,0	9700,0	10000,0	10300,0
68	6478,4	6778,4	7078,4	7378,4	7678,4	8398,0	8681,5	8950,0	9187,2	9478,4	9778,4	10078,4	10378,4
69	6600,0	6900,0	7200,0	7500,0	7800,0	8500,0	8743,6	9009,6	9300,0	9600,0	9900,0	10200,0	10500,0
70	6674,1	6974,1	7274,1	7574,1	7874,1	8570,9	8850,0	9075,4	9364,3	9663,9	9978,1	10297,9	10597,9
71	6749,2	7049,2	7349,2	7649,2	7949,2	8642,8	8917,1	9150,0	9431,2	9731,0	10044,4	10400,0	10700,0
72	6850,0	7150,0	7450,0	7750,0	8050,0	8750,0	8993,8	9250,0	9550,0	9850,0	10150,0	10474,0	10774,0
73	6916,5	7216,5	7516,5	7816,5	8116,5	8829,5	9100,0	9318,3	9617,9	9917,8	10217,7	10541,8	10841,5
74	6985,9	7285,9	7585,9	7885,9	8185,9	8950,0	9171,1	9400,0	9687,8	9987,6	10287,7	10650,0	10950,0
75	7100,0	7400,0	7700,0	8000,0	8300,0	9032,9	9250,0	9500,0	9800,0	10100,0	10400,0	10720,5	11020,4
76	7171,2	7471,2	7771,2	8071,2	8371,2	9150,0	9350,0	9571,4	9871,9	10171,9	10472,0	10793,0	11092,6
77	7242,5	7542,5	7842,5	8142,5	8442,5	9227,8	9450,0	9650,0	9944,3	10244,3	10544,6	10900,0	11200,0
78	7350,0	7650,0	7950,0	8250,0	8550,0	9350,0	9550,0	9750,0	10050,0	10350,0	10650,0	10973,0	11272,3
79	7421,8	7721,8	8021,8	8321,8	8621,8	9432,2	9650,0	9850,0	10122,7	10422,8	10722,8	11046,7	11345,1
80	7493,4	7793,4	8093,4	8393,4	8693,4	9550,0	9750,0	9950,0	10195,5	10495,7	10795,4	11150,0	11450,0
81	7800,0	8100,0	8400,0	8700,0	9000,0	9758,2	10058,2	10358,2	10658,2	10958,2	11258,2	11558,2	11858,2
82	7864,9	8164,9	8464,9	8764,9	9064,9	9850,0	10150,0	10450,0	10750,0	11050,0	11350,0	11650,0	11950,0
83	7934,0	8234,0	8534,0	8834,0	9134,0	10000,0	10219,2	10519,2	10819,2	11119,2	11419,2	11719,2	12019,2
84	8050,0	8350,0	8650,0	8950,0	9250,0	10150,0	10300,0	10597,3	10897,3	11197,3	11497,3	11797,3	12097,3
85	8132,7	8432,7	8732,7	9032,7	9332,7	10300,0	10450,0	10700,0	11000,0	11300,0	11600,0	11900,0	12200,0
86	8250,0	8550,0	8850,0	9150,0	9450,0	10358,6	10650,0	10780,9	11087,0	11387,0	11687,0	11987,0	12287,0
87	8329,8	8629,8	8929,8	9229,8	9529,8	10420,6	10706,0	10950,0	11200,0	11500,0	11800,0	12100,0	12400,0
88	8450,0	8750,0	9050,0	9350,0	9650,0	10484,3	10766,3	11050,0	11350,0	11650,0	11878,4	12178,4	12478,4
89	8529,1	8829,1	9129,1	9429,1	9729,1	10600,0	10830,9	11110,4	11409,9	11717,0	12000,0	12300,0	12600,0

90	8650,0	8950,0	9250,0	9550,0	9850,0	10672,1	10900,0	11177,0	11475,8	11782,6	12063,9	12363,9	12663,9
91	8725,1	9025,1	9325,1	9625,1	9925,1	10745,3	11000,0	11244,2	11542,3	11849,2	12131,0	12431,0	12731,0
92	8797,9	9097,9	9397,9	9697,9	9997,9	10850,0	11077,6	11350,0	11650,0	11950,0	12250,0	12550,0	12850,0
93	8900,0	9200,0	9500,0	9800,0	10100,0	10929,7	11200,0	11418,3	11718,4	12018,3	12317,8	12617,8	12917,8
94	8969,4	9269,4	9569,4	9869,4	10169,4	11050,0	11272,0	11500,0	11788,8	12088,6	12387,6	12687,6	12987,6
95	9038,8	9338,8	9638,8	9938,8	10238,8	11133,7	11350,0	11600,0	11900,0	12200,0	12500,0	12800,0	13100,0
96	9150,0	9450,0	9750,0	10050,0	10350,0	11250,0	11450,0	11671,9	11972,0	12272,0	12571,9	12871,9	13171,9
97	9221,4	9521,4	9821,4	10121,4	10421,4	11327,9	11550,0	11750,0	12044,4	12344,5	12644,3	12944,3	13244,3
98	9292,7	9592,7	9892,7	10192,7	10492,7	11450,0	11650,0	11850,0	12150,0	12450,0	12750,0	13050,0	13350,0
99	9400,0	9700,0	10000,0	10300,0	10600,0	11533,4	11750,0	11950,0	12222,7	12522,8	12822,8	13122,8	13422,8
100	9471,6	9771,6	10071,6	10371,6	10671,6	11650,0	11850,0	12050,0	12295,4	12595,6	12895,7	13195,7	13495,7
101	10086,7	10386,7	10686,7	10986,7	11286,7	11859,8	12159,8	12459,8	12759,8	13059,8	13359,8	13659,8	13959,8
102	10151,6	10451,6	10751,6	11051,6	11351,6	11950,0	12250,0	12550,0	12850,0	13150,0	13450,0	13750,0	14050,0
103	10220,7	10520,7	10820,7	11120,7	11420,7	12038,2	12319,2	12619,2	12919,2	13219,2	13519,2	13819,2	14119,2
104	10298,8	10598,8	10898,8	11198,8	11498,8	12150,0	12395,5	12697,3	12997,3	13297,3	13597,3	13897,3	14197,3
105	10400,0	10700,0	11000,0	11300,0	11600,0	12300,0	12500,0	12800,0	13100,0	13400,0	13700,0	14000,0	14300,0
106	10487,0	10787,0	11087,0	11387,0	11687,0	12393,9	12650,0	12887,0	13187,0	13487,0	13787,0	14087,0	14387,0
107	10600,0	10900,0	11200,0	11500,0	11800,0	12500,0	12800,0	13000,0	13300,0	13600,0	13900,0	14200,0	14500,0
108	10678,4	10978,4	11278,4	11578,4	11878,4	12562,5	12858,2	13150,0	13385,7	13678,4	13978,4	14278,4	14578,4
109	10800,0	11100,0	11400,0	11700,0	12000,0	12627,8	12919,9	13209,9	13500,0	13800,0	14100,0	14400,0	14700,0
110	10886,3	11174,1	11474,1	11774,1	12074,1	12698,2	12986,5	13275,7	13564,2	13863,9	14180,0	14497,9	14797,9
111	11000,0	11300,0	11600,0	11900,0	12200,0	12800,0	13100,0	13342,2	13631,1	13931,0	14246,3	14600,0	14900,0
112	11073,2	11372,3	11672,3	11972,3	12272,3	12878,1	13176,7	13450,0	13750,0	14050,0	14350,0	14674,0	14974,0
113	11140,4	11439,3	11739,3	12039,3	12339,3	13000,0	13247,0	13518,4	13817,9	14117,8	14417,7	14741,8	15041,5
114	11250,0	11550,0	11850,0	12150,0	12450,0	13081,3	13350,0	13588,7	13887,8	14187,6	14487,8	14850,0	15150,0
115	11320,6	11620,8	11920,8	12220,8	12520,8	13200,0	13420,7	13700,0	14000,0	14300,0	14600,0	14920,5	15220,4
116	11393,0	11693,4	11993,4	12293,4	12593,4	13274,8	13500,0	13771,7	14071,9	14371,9	14672,0	14993,0	15292,6
117	11500,0	11800,0	12100,0	12400,0	12700,0	13400,0	13600,0	13843,5	14144,4	14444,3	14744,6	15100,0	15400,0
118	11572,3	11872,3	12172,3	12472,3	12772,3	13478,2	13700,0	13950,0	14250,0	14550,0	14850,0	15173,0	15472,3
119	11645,0	11945,0	12245,0	12545,0	12845,0	13600,0	13800,0	14021,9	14322,8	14622,8	14922,8	15246,7	15545,1
120	11750,0	12050,0	12350,0	12650,0	12950,0	13680,7	13900,0	14100,0	14395,7	14695,7	14995,4	15350,0	15650,0
121	12158,2	12458,2	12758,2	13058,2	13358,2	13887,7	14187,7	14487,7	14787,7	15087,7	15387,7	15687,7	15987,7
122	12250,0	12550,0	12850,0	13150,0	13450,0	13963,9	14252,5	14552,5	14852,5	15152,5	15452,5	15752,5	16052,5
123	12319,2	12619,2	12919,2	13219,2	13519,2	14046,7	14321,0	14621,7	14921,7	15221,7	15521,7	15821,7	16121,7
124	12397,3	12697,3	12997,3	13297,3	13597,3	14150,0	14396,6	14699,9	14999,8	15299,8	15599,8	15899,8	16199,8
125	12500,0	12800,0	13100,0	13400,0	13700,0	14300,0	14500,0	14800,0	15100,0	15400,0	15700,0	16000,0	16300,0
126	12587,0	12887,0	13187,0	13487,0	13787,0	14450,0	14600,0	14887,0	15187,0	15487,0	15787,0	16087,0	16387,0
127	12700,0	13000,0	13300,0	13600,0	13900,0	14508,8	14750,0	15000,0	15300,0	15600,0	15900,0	16200,0	16500,0
128	12778,4	13078,4	13378,4	13678,4	13978,4	14570,8	14855,8	15086,5	15378,4	15678,4	15978,4	16278,4	16578,4
129	12900,0	13200,0	13500,0	13800,0	14100,0	14635,9	14915,3	15200,0	15500,0	15800,0	16100,0	16400,0	16700,0
130	12981,9	13297,9	13597,9	13897,9	14196,9	14750,0	14981,1	15264,2	15572,5	15897,9	16190,9	16474,1	16774,1
131	13048,1	13400,0	13700,0	14000,0	14300,0	14820,6	15050,0	15331,1	15639,2	16000,0	16300,0	16600,0	16900,0
132	13150,0	13474,0	13774,0	14074,0	14373,9	14898,6	15150,0	15450,0	15750,0	16074,0	16373,5	16672,3	16972,3
133	13217,6	13541,8	13841,5	14141,5	14441,4	15000,0	15218,2	15517,9	15817,7	16141,8	16440,8	16739,3	17039,3
134	13287,8	13650,0	13950,0	14250,0	14550,0	15076,5	15300,0	15587,8	15887,7	16250,0	16550,0	16850,0	17150,0
135	13400,0	13720,5	14020,4	14320,4	14620,4	15200,0	15400,0	15700,0	16000,0	16320,5	16620,5	16920,8	17220,8

136	13472,1	13793,0	14092,6	14392,6	14692,6	15274,3	15500,0	15771,9	16072,0	16393,0	16692,8	16993,4	17293,4
137	13544,7	13900,0	14200,0	14500,0	14800,0	15349,8	15600,0	15844,3	16144,5	16500,0	16800,0	17100,0	17400,0
138	13650,0	13973,0	14272,3	14572,3	14872,3	15450,0	15670,1	15950,0	16250,0	16573,0	16872,3	17172,3	17472,3
139	13722,8	14046,7	14345,1	14645,1	14945,1	15528,7	15750,0	16022,7	16322,8	16646,7	16945,1	17245,0	17545,0
140	13795,3	14150,0	14450,0	14750,0	15050,0	15650,0	15850,0	16095,3	16395,5	16750,0	17050,0	17350,0	17650,0
141	14259,8	14559,8	14859,8	15159,8	15459,8	15854,8	16154,8	16454,8	16754,8	17054,8	17354,8	17654,8	17954,8
142	14350,0	14650,0	14950,0	15250,0	15550,0	15950,0	16250,0	16550,0	16850,0	17150,0	17450,0	17750,0	18050,0
143	14419,2	14719,2	15019,2	15319,2	15619,2	16025,6	16319,2	16619,2	16919,2	17219,2	17519,2	17819,2	18119,2
144	14497,3	14797,3	15097,3	15397,3	15697,3	16150,0	16396,7	16697,3	16997,3	17297,3	17597,3	17897,3	18197,3
145	14600,0	14900,0	15200,0	15500,0	15800,0	16249,4	16500,0	16800,0	17100,0	17400,0	17700,0	18000,0	18300,0
146	14687,0	14987,0	15287,0	15587,0	15887,0	16354,8	16580,9	16887,0	17187,0	17487,0	17787,0	18087,0	18387,0
147	14800,0	15100,0	15400,0	15700,0	16000,0	16500,0	16700,0	17000,0	17300,0	17600,0	17900,0	18200,0	18500,0
148	14878,4	15178,4	15478,4	15778,4	16078,4	16567,0	16800,0	17078,4	17378,4	17678,4	17978,4	18278,4	18578,4
149	15000,0	15300,0	15600,0	15900,0	16200,0	16630,0	16907,0	17200,0	17500,0	17800,0	18100,0	18400,0	18700,0
150	15084,6	15374,1	15674,1	15974,1	16274,1	16698,0	16974,3	17295,1	17574,1	17874,1	18174,1	18474,1	18774,1
151	15200,0	15500,0	15800,0	16100,0	16400,0	16800,0	17040,7	17400,0	17700,0	18000,0	18300,0	18600,0	18900,0
152	15273,1	15572,3	15872,3	16172,3	16472,3	16876,8	17150,0	17473,7	17772,3	18072,3	18372,3	18672,3	18972,3
153	15340,3	15639,3	15939,3	16239,3	16539,3	16949,1	17217,6	17541,5	17839,3	18139,3	18439,3	18739,3	19039,3
154	15450,0	15750,0	16050,0	16350,0	16650,0	17050,0	17287,3	17650,0	17950,0	18250,0	18550,0	18850,0	19150,0
155	15520,6	15820,8	16120,8	16420,8	16720,8	17121,0	17400,0	17720,6	18020,8	18320,8	18620,8	18920,8	19220,8
156	15593,0	15893,4	16193,4	16493,4	16793,4	17194,1	17471,6	17793,1	18093,4	18393,4	18693,4	18993,4	19293,4
157	15700,0	16000,0	16300,0	16600,0	16900,0	17300,0	17543,5	17900,0	18200,0	18500,0	18800,0	19100,0	19400,0
158	15772,3	16072,3	16372,3	16672,3	16972,3	17373,6	17650,0	17973,0	18272,3	18572,3	18872,3	19172,3	19472,3
159	15845,0	16145,0	16445,0	16745,0	17045,0	17448,3	17722,1	18046,6	18345,0	18645,0	18945,0	19245,0	19545,0
160	15950,0	16250,0	16550,0	16850,0	17150,0	17550,0	17794,1	18150,0	18450,0	18750,0	19050,0	19350,0	19650,0
161	16287,7	16587,7	16887,7	17187,7	17487,7	17787,7	18087,7	18387,7	18687,7	18987,7	19287,7	19587,7	19887,7
162	16352,5	16652,5	16952,5	17252,5	17552,5	17852,5	18152,5	18452,5	18752,5	19052,5	19352,5	19652,5	
163	16421,7	16721,7	17021,7	17321,7	17621,7	17921,7	18221,7	18521,7	18821,7	19121,7	19421,7	19721,7	
164	16499,8	16799,8	17099,8	17399,8	17699,8	17999,8	18299,8	18599,8	18899,8	19199,8	19499,8	19799,8	
165	16600,0	16900,0	17200,0	17500,0	17800,0	18100,0	18400,0	18700,0	19000,0	19300,0	19600,0	19900,0	
166	16687,0	16987,0	17287,0	17587,0	17887,0	18187,0	18487,0	18787,0	19087,0	19387,0	19687,0		
167	16800,0	17100,0	17400,0	17700,0	18000,0	18300,0	18600,0	18900,0	19200,0	19500,0	19800,0		
168	16878,4	17178,4	17478,4	17778,4	18078,4	18378,4	18678,4	18978,4	19278,4	19578,4	19878,4		
169	17000,0	17300,0	17600,0	17900,0	18200,0	18500,0	18800,0	19100,0	19400,0	19700,0			
170	17074,1	17374,1	17674,1	17974,1	18274,1	18574,1	18874,1	19174,1	19474,1	19774,1			
171	17200,0	17500,0	17800,0	18100,0	18400,0	18700,0	19000,0	19300,0	19600,0	19900,0			
172	17272,3	17572,3	17872,3	18172,3	18472,3	18772,3	19072,3	19372,3	19672,3				
173	17339,3	17639,3	17939,3	18239,3	18539,3	18839,3	19139,3	19439,3	19739,3				
174	17450,0	17750,0	18050,0	18350,0	18650,0	18950,0	19250,0	19550,0	19850,0				
175	17520,8	17820,8	18120,8	18420,8	18720,8	19020,8	19320,8	19620,8	19920,8				
176	17593,4	17893,4	18193,4	18493,4	18793,4	19093,4	19393,4	19693,4					
177	17700,0	18000,0	18300,0	18600,0	18900,0	19200,0	19500,0	19800,0					
178	17772,3	18072,3	18372,3	18672,3	18972,3	19272,3	19572,3	19872,3					
179	17845,0	18145,0	18445,0	18745,0	19045,0	19345,0	19645,0	19945,0					
180	17950,0	18250,0	18550,0	18850,0	19150,0	19450,0	19750,0						
181	18254,8	18554,8	18854,8	19154,8	19454,8	19754,8							

182	18350,0	18650,0	18950,0	19250,0	19550,0	19850,0
183	18419,2	18719,2	19019,2	19319,2	19619,2	19919,2
184	18497,3	18797,3	19097,3	19397,3	19697,3	
185	18600,0	18900,0	19200,0	19500,0	19800,0	
186	18687,0	18987,0	19287,0	19587,0	19887,0	
187	18800,0	19100,0	19400,0	19700,0		
188	18878,4	19178,4	19478,4	19778,4		
189	19000,0	19300,0	19600,0	19900,0		
190	19074,1	19374,1	19674,1			
191	19200,0	19500,0	19749,2			
192	19272,3	19577,0	19850,0			
193	19339,3	19643,9	19916,7			
194	19450,0	19750,0				
195	19520,8	19820,7				
196	19593,4	19893,1				
197	19700,0					
198	19772,3					
199	19845,0					
200	19950,0					

Matriu d'interval·ls entre cada parell d'autobusos en cada parada

	Vehicle j avançat respecte $j-1$
	Vehicle j endarrerit respecte $j-1$

[illegible]

84	300,00	300,00	300,00	300,00	900,00	150,00	297,26	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
85	300,00	300,00	300,00	300,00	967,28	150,00	250,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
86	300,00	300,00	300,00	300,00	908,63	291,37	130,85	306,17	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
87	300,00	300,00	300,00	300,00	890,84	285,39	244,02	250,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
88	300,00	300,00	300,00	300,00	834,26	282,02	283,72	300,00	300,00	228,42	300,00	300,00	300,00
89	300,00	300,00	300,00	300,00	870,92	230,89	279,54	299,48	307,08	283,01	300,00	300,00	300,00
90	300,00	300,00	300,00	300,00	822,13	227,87	276,95	298,84	306,80	281,35	300,00	300,00	300,00
91	300,00	300,00	300,00	300,00	820,17	254,71	244,18	298,16	306,83	281,78	300,00	300,00	300,00
92	300,00	300,00	300,00	300,00	852,08	227,59	272,41	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
93	300,00	300,00	300,00	300,00	829,71	270,29	218,29	300,09	299,92	299,48	300,00	300,00	300,00
94	300,00	300,00	300,00	300,00	880,61	221,97	228,03	288,77	299,84	299,02	300,00	300,00	300,00
95	300,00	300,00	300,00	300,00	894,90	216,32	250,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
96	300,00	300,00	300,00	300,00	900,00	200,00	221,93	300,06	299,98	299,94	300,01	300,00	300,00
97	300,00	300,00	300,00	300,00	906,52	222,11	200,00	294,44	300,02	299,87	300,01	300,00	300,01
98	300,00	300,00	300,00	300,00	957,26	200,00	200,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,04
99	300,00	300,00	300,00	300,00	933,36	216,64	200,00	272,68	300,13	300,00	300,01	300,00	300,00
100	300,00	300,00	300,00	300,00	978,41	200,00	200,00	245,38	300,24	300,05	300,02	300,00	300,11
101	300,00	300,00	300,00	300,00	573,12	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
102	300,00	300,00	300,00	300,00	598,45	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
103	300,00	300,00	300,00	300,00	617,52	280,93	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
104	300,00	300,00	300,00	300,00	651,19	245,48	301,78	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
105	300,00	300,00	300,00	300,00	700,00	200,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
106	300,00	300,00	300,00	300,00	706,85	256,13	237,02	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
107	300,00	300,00	300,00	300,00	700,00	300,00	200,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
108	300,00	300,00	300,00	300,00	684,12	295,66	291,80	235,69	292,73	300,00	300,00	300,00	300,00
109	300,00	300,00	300,00	300,00	627,82	292,06	289,98	290,14	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
110	287,79	300,00	300,00	300,00	624,07	288,31	289,17	288,52	299,74	316,02	317,89	300,00	288,49
111	300,00	300,00	300,00	300,00	600,00	300,00	242,17	288,97	299,81	315,32	353,73	300,00	300,00
112	299,16	300,00	300,00	300,00	605,77	298,55	273,35	300,00	300,00	300,00	323,97	300,00	299,20
113	298,90	300,00	300,00	300,00	660,67	247,04	271,34	299,48	299,92	299,87	324,16	299,66	298,96
114	300,00	300,00	300,00	300,00	631,30	268,70	238,74	299,04	299,85	300,12	362,25	300,00	300,00
115	300,21	300,00	300,00	300,00	679,19	220,69	279,31	300,00	300,00	300,00	320,50	299,91	300,19
116	300,41	300,01	300,00	300,00	681,43	225,19	271,66	300,26	300,00	300,12	320,91	299,64	300,37
117	300,00	300,00	300,00	300,00	700,00	200,00	243,47	300,88	299,99	300,27	355,39	300,00	300,00
118	299,99	300,01	300,00	300,00	705,86	221,84	250,00	300,00	300,00	300,00	323,04	299,27	299,99
119	299,97	300,03	300,00	300,00	754,96	200,00	221,92	300,89	300,01	299,98	323,90	298,38	299,96
120	300,00	300,00	300,00	300,00	730,74	219,26	200,00	295,66	300,02	299,67	354,65	300,00	300,00
121	300,00	300,00	300,00	300,00	529,41	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
122	300,00	300,00	300,00	300,00	513,89	288,63	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
123	300,00	300,00	300,00	300,00	527,56	274,23	300,73	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
124	300,00	300,00	300,00	300,00	552,74	246,64	303,21	299,93	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
125	300,00	300,00	300,00	300,00	600,00	200,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
126	300,00	300,00	300,00	300,00	662,98	150,00	287,02	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
127	300,00	300,00	300,00	300,00	608,80	241,20	250,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
128	300,00	300,00	300,00	300,00	592,34	285,01	230,72	291,93	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
129	300,00	300,00	300,00	300,00	535,93	279,39	284,68	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00

130	316,00	300,00	300,00	299,04	553,11	231,08	283,12	308,34	325,31	293,05	283,23	300,00	317,91
131	351,92	300,00	300,00	300,00	520,56	229,44	281,14	308,04	360,82	300,00	300,00	300,00	317,13
132	323,97	300,00	300,00	299,93	524,65	251,45	300,00	300,00	323,97	299,52	298,84	300,00	300,00
133	324,18	299,66	300,00	299,91	558,62	218,18	299,68	299,85	324,10	299,03	298,49	300,00	299,85
134	362,24	300,00	300,00	300,00	526,46	223,54	287,78	299,91	362,31	300,00	300,00	300,00	300,13
135	320,50	299,91	300,00	300,01	579,58	200,00	300,00	300,00	320,50	300,02	300,29	300,00	300,00
136	320,89	299,64	300,00	300,03	581,67	225,71	271,91	300,07	320,97	299,86	300,55	300,02	300,14
137	355,35	300,00	300,00	300,00	549,84	250,16	244,26	300,23	355,51	300,00	300,00	300,00	300,31
138	323,04	299,27	300,01	300,00	577,68	220,10	279,90	300,00	323,04	299,26	299,99	300,01	300,00
139	323,91	298,38	300,01	299,99	583,60	221,32	272,65	300,15	323,90	298,35	299,96	300,03	299,97
140	354,69	300,00	300,00	300,00	600,00	200,00	245,32	300,19	354,49	300,00	300,00	300,00	299,62
141	300,00	300,00	300,00	300,00	395,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
142	300,00	300,00	300,00	300,00	400,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
143	300,00	300,00	300,00	300,00	406,39	293,61	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
144	300,00	300,00	300,00	300,00	452,74	246,66	300,60	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
145	300,00	300,00	300,00	300,00	449,38	250,62	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
146	300,00	300,00	300,00	300,00	467,81	226,09	306,10	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
147	300,00	300,00	300,00	300,00	500,00	200,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
148	300,00	300,00	300,00	300,00	488,61	232,97	278,42	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
149	300,00	300,00	300,00	300,00	429,97	277,05	292,98	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
150	289,50	300,00	300,00	300,00	423,85	276,34	320,79	279,02	300,00	300,00	300,00	300,00	286,78
151	300,00	300,00	300,00	300,00	400,00	240,73	359,27	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
152	299,28	300,00	300,00	300,00	404,47	273,20	323,67	298,66	300,00	300,00	300,00	300,00	299,08
153	299,05	300,00	300,00	300,00	409,75	268,56	323,86	297,83	300,00	300,00	300,00	300,00	298,81
154	300,00	300,00	300,00	300,00	400,00	237,34	362,66	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
155	300,18	300,00	300,00	300,00	400,16	279,03	320,60	300,21	300,00	300,00	300,00	300,00	300,22
156	300,35	300,01	300,00	300,00	400,71	277,53	321,52	300,22	300,02	300,00	300,00	300,00	300,43
157	300,00	300,00	300,00	300,00	400,00	243,46	356,54	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
158	299,99	300,01	300,00	300,00	401,34	276,36	322,98	299,30	300,02	300,00	300,00	300,00	299,99
159	299,98	300,02	300,00	300,00	403,29	273,78	324,51	298,38	300,04	300,00	300,00	300,00	299,96
160	300,00	300,00	300,00	300,00	400,00	244,13	355,87	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
161	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00
162	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00		300,00
163	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00		300,00
164	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00		300,00
165	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00		300,00
166	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00			300,00
167	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00			300,00
168	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00			300,00
169	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00				300,00
170	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00				300,00
171	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00				300,00
172	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00					300,00
173	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00					300,00
174	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00					300,00
175	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00					300,00

[illegible]

Gràfiques que representen les variacions dels intervals de tots els parells d'autobusos consecutius

